

14321.60  
101727,171

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 2 月    6 日  
Date of Application:

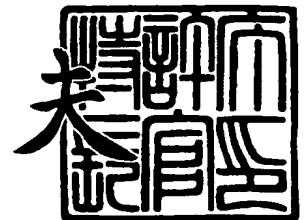
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 5 4 6 4 0  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 2 - 3 5 4 6 4 0 ]

出      願      人                      日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司  
Applicant(s):

2 0 0 4 年    1 月 3 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 4 5 3 5

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH146361

【提出日】 平成14年12月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/25

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号      日本電信電話  
                                株式会社内

    【氏名】 水野 隆之

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号      日本電信電話  
                                株式会社内

    【氏名】 鬼頭 勤

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号      日本電信電話  
                                株式会社内

    【氏名】 小熊 学

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号      日本電信電話  
                                株式会社内

    【氏名】 井上 靖之

【特許出願人】

    【識別番号】 000004226

    【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100078499

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 光石 俊郎

    【電話番号】 03-3583-7058

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100074480

【弁理士】

【氏名又は名称】 光石 忠敬

【電話番号】 03-3583-7058

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100102945

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 康幸

【電話番号】 03-3583-7058

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020318

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 等波長間隔合分波回路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一つ以上の入力と二つ以上の出力を持つ光合分波手段と、該光合分波手段に結合される光路長差付与部により構成される干渉回路において、前記光合分波手段のうち少なくとも一つは、出力の位相差が前記干渉回路の透過帯域に対して異なることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記光合分波手段の出力の位相差が、前記干渉回路の透過帯域に対して 2 次関数以上の多項式によって与えられることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 において、前記光合分波手段のうち少なくとも一つは、 $N + 1$  個 ( $N$  は 3 以上の整数) の光合分波手段と隣接する光合分波手段に挟まれた  $N$  個の光路長差付与部によって構成されていることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 4】 請求項 1 又は 2 において、前記干渉回路が、二つの光合分波手段と、該光合分波手段に挟まれた光路長差付与部と、該光合分波手段に結合する一つ以上の入力導波路と二つ以上の出力導波路より構成されるマッハツェンダ干渉回路であり、該マッハツェンダ干渉回路の二つの光合分波手段が 4 つの光合分波手段と、隣接する光合分波手段に挟まれた 3 つの光路長差付与部によって構成されており、該光合分波手段が前記マッハツェンダ干渉回路の中間点に対し、左右対称に配置されていることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 5】 請求項 1, 2, 3 又は 4 において、前記干渉回路の少なくとも二つの出力が、アレイ導波路と該アレイ導波路の両側に設けられた第一スラブ導波路及び第二スラブ導波路と、該第一スラブ導波路及び第二スラブ導波路に結合する 1 つ以上の入力導波路と 2 つ以上の出力導波路より構成されるアレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に入射することを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 6】 請求項 5 において、前記干渉回路が二つの光合分波手段と、該光合分波手段に挟まれた 2 本の導波路より構成される光路長差付与部を備え、

該干渉回路の一方の光合分波手段が一つ以上の入力導波路に結合され、該干渉回路の他方の光合分波手段が前記アレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に結合されていることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 7】 請求項 1, 2, 3, 4, 5 又は 6 に記載の等波長間隔合分波回路において、前記等波長間隔合分波回路の少なくとも一つの出力に、前記いずれかの等波長間隔合分波回路が一つ以上繋がれていることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 8】 請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6 又は 7 に記載の等波長間隔合分波回路において、前記光路長差付与部に位相調整手段を備えるか、若しくは位相調整を行ったことを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 9】 請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 又は 8 に記載の等波長間隔合分波回路において、前記干渉回路が石英系ガラス光導波路で構成されていることを特徴とする等波長間隔合分波回路。

【請求項 10】 請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 又は 9 に記載の等波長間隔合分波回路において、前記等波長間隔合分波回路を内部に有する筐体と、該筐体に保持され、前記等波長間隔合分波回路に信号の入出力を行う光ファイバを有することを特徴とする等波長間隔合分波回路。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信の分野で用いる合分波回路に関し、特に、波長分割多重通信に用いる合分波回路に関するものである。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年では高密度波長分割多重通信（DWDM；Dense Wavelength Division Multiplexing）システムが発展し、波長合分波器、光フィルタ、光スイッチをはじめとするWDMシステムに不可欠な、様々な機能を有する光デバイスが開発された。

例えば上記光デバイスの例として、アレイ導波路回折格子やラティス・フィル

タ（例えば非特許文献 1 参照）、非対称マッハツェンダ干渉計（例えば非特許文献 2 参照）、対称マッハツェンダ干渉計（例えば非特許文献 3 参照）、多段マッハツェンダ干渉計（例えば非特許文献 4 参照）、トランスバーサル・フィルタ（例えば非特許文献 5 参照）などが報告されている。

### 【 0 0 0 3 】

更に、最近では特にメトロ系ネットワークで用いられる C W D M（Coarse Wavelength Division Multiplexing）システム（例えば非特許文献 6 参照）用の光デバイスの需要が伸びている。

C W D M システムの波長グリッドは等波長間隔であり、その間隔は 2 0 n m である。

従って、C W D M システム用の光デバイスの透過帯は等波長間隔になるよう作製することが求められている。

### 【 0 0 0 4 】

しかしながら従来のマッハツェンダ干渉回路等の合分波回路は等周波数間隔であり、波長特性は等波長軸上では周期的ではない。

そのため、挿入損失、透過帯域幅、消光比は波長ごとにばらつき、C W D M システムに用いることはできなかった。

具体例として、図 2 8 に従来のマッハツェンダ干渉計を示す。

マッハツェンダ干渉計（例えば非特許文献 7 参照）は、2 個の光結合器 9 0 5，9 0 6 と、これら 2 個の光結合器に挟まれた光路長差付与部分 9 0 7 と、光結合器 9 0 5，9 0 6 に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路より構成されている。

なお、光結合器 9 0 5，9 0 6 は方向性結合器を用いており、結合率は 5 0 % に設定してある。

マッハツェンダ干渉計は次に説明するように等周波数間隔の合分波回路である。

マッハツェンダ干渉計の二つの光出力強度はそれぞれ、

### 【 0 0 0 5 】

## 【数 1】

$$|A|^2 = |A_0|^2 \sin^2(\Phi/2) \quad (1)$$

$$|B|^2 = |A_0|^2 \cos^2(\Phi/2) \quad (2)$$

【 0 0 0 6 】

と表される。

但し、 $A_0$ は一方の入力ポートより入射された光強度、 $\Phi$ は光路長差付与部の位相である。

ここで、 $\nu = c / \lambda$  の関係より  $\Phi$  は、

【 0 0 0 7 】

## 【数 2】

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} n \Delta L = \frac{2\pi}{c} n \Delta L \nu_m \quad (3)$$

【 0 0 0 8 】

である。

但し、 $n$ は屈折率、 $\Delta L$ は光路長差、 $\nu$ は周波数、 $c$ は光速、 $\lambda$ は波長、 $m$ は整数である。

周波数間隔は、コサイン関数、サイン関数の二乗が周期  $\pi$  の関数であることを用いると、(3) 式より

【 0 0 0 9 】

## 【数 3】

$$\Delta \nu = \nu_m - \nu_{m-1} = \frac{c\pi}{2\pi n \Delta L} = \text{const.} \quad (4)$$

【 0 0 1 0 】

となり、定数なのでマッハツェンダ干渉計は等周波数間隔の合分波回路であることがわかる。

図 2 9 に、マッハツェンダ干渉計の中心波長を 1 4 7 0 nm とし、その近傍におけるスルーポートとクロスポートの分波間隔が 2 0 nm となるような周波数間隔を与える光路長差、即ち、光路長差付与部分における光路長差  $\Delta L$  を 5 5 . 9

$\mu\text{m}$ に設定した場合の透過特性を示す。

ここで、横軸は波長であり、波長グリッドが等間隔に並んでいる。

実線はクロスポートより出力される透過特性、破線はスルーポートより出力される透過特性である。

#### 【0 0 1 1】

比較のために、横軸を光周波数にした場合の透過特性を図 3 0 に示した。

マッハツェンダ干渉計の透過特性は、図 3 0 に示すように等周波数間隔であり、図 2 9 に示すように波長間隔は等しくない。

1 4 7 0 nm 近傍ではスルーポートとクロスポートの分波間隔が 2 0 nm であり、波長グリッド上に載っているが、1 4 7 0 nm から長波長側にいくほど波長間隔が広くなり、波長グリッドから離れる様子が明らかである。

従って、このような光デバイスは波長グリッド上で挿入損失、透過帯域幅や消光比が波長によって著しく異なり、CWDM システム用の光デバイスとして使用するには適していなかった。

#### 【0 0 1 2】

##### 【非特許文献 1】

M.Oguma et al., "Passband-width broadening design for WDM filter with lattice-form interleave filter and arrayed-waveguide gratings," IEEE Photonics Technology Letters 2002. Vol. 14, pp. 328-330

##### 【非特許文献 2】

De Merlier et al., "All-optical 2R regeneration based on integrated asymmetric Mach-Zehnder interferometer incorporating MMI-SOA," Electronics Letters 2002, Vol.38, pp. 238-239

##### 【非特許文献 3】

Y.Hashizume et al., "Integrated polarisation beam splitter using waveguide birefringence dependence on waveguide core width," Electronics Letters 2001, Vol. 37, pp. 1517-1518

##### 【非特許文献 4】

K.Suzuki et al., "PLC-based dynamic gain equaliser consisting of integ



rated Mach-Zehnder interferometers with C- and L-band equalising range,"  
Electronics Letters 2002, Vol. 38, pp. 1030-1031

【非特許文献 5】

T. Mizuno et al., "Dispersionless interleave filter based on transversal form optical filter " Electronics Letters 2002 Vol. 38, pp. 1121-1122

【非特許文献 6】

R.R.Patel et al., "Multi-mode fiber coarse WDM grating router using broadband add/drop filters for wavelength re-use " LEOS'99 12th Annual Meeting Vol. 2, pp. 826-827

【非特許文献 7】

K. Okamoto, "Fundamentals of optical waveguides " Academic Press 2000, pp. 159-161

【0 0 1 3】

【発明が解決しようとする課題】

以上説明したように、従来構成のマッハツェンダ干渉回路等の干渉回路は等波長間隔になっていないため、透過帯は中心波長から離れるほど波長軸上のグリッドからずれ、挿入損失が波長によって著しく異なってしまうという問題があった。

透過帯が等波長間隔のグリッド上に乗るようにするには、グリッドごとに光路長差  $\Delta L$  が変化するような仕組みを与え、中心波長をグリッドに一致させるようにできれば良い。

【0 0 1 4】

光路長差  $\Delta L$  は通常、光路長差付与部により与えられるが、干渉計を構成する光結合器の出力の位相差により光路長に寄与を与えることもできることに注目した。

例えば、マッハツェンダ干渉計の二つの出力ポート間に 1 周期  $\pi$  の位相差を与えれば、光路長を  $1/2$  波長分変化させられる。

そこで、出力の位相差が波長依存性を持つような光結合器を用いれば光路長差  $\Delta L$  を異なる波長ごとに变化させられることになる。

**【0015】**

しかし、従来技術で用いられている方向性結合器、マルチモード干渉計型カップラなどの従来型の光結合器では、その出力の位相差は一定であるため、波長に依存する位相差はなく、光路長差 $\Delta L$ に光結合器の寄与による波長依存性を与えることができなかった。

本発明は、出力の位相差が透過帯域に対して異なる光結合器を用いることにより、透過帯が波長軸上のグリッドに乗る等波長間隔の合分波回路を提供することを目的とする。

**【0016】****【課題を解決するための手段】**

上記課題を解決するため、本発明の等波長間隔合分波回路は、一つ以上の入力と二つ以上の出力を持つ光合分波手段と、該光合分波手段に結合される光路長差付与部により構成される干渉回路において、前記光合分波手段のうち少なくとも一つは、出力の位相差が前記干渉回路の透過帯域に対して異なることにより（請求項1）、干渉回路の位相成分を透過帯域に対して変化させることができるため、透過帯の波長軸上のずれを補正することができる。

**【0017】**

また、前記光合分波手段の出力の位相差が、干渉回路の透過帯域に対して2次関数以上の多項式によって与えられることにより（請求項2）、後述のように光合分波手段に非線形な位相差を与えることができる。

これにより位相補正量を近似する多項式の近似度が高まり干渉回路の透過帯域を波長グリッド上によりよく一致させることができ、等波長間隔の合分波回路を実現できる。

**【0018】**

また、前記光合分波手段のうち少なくとも一つは、 $N+1$ 個（ $N$ は3以上の整数）の光合分波手段と隣接する光合分波手段に挟まれた $N$ 個の光路長差付与部によって構成されていることにより（請求項3）、干渉回路の位相成分を透過帯域に対して変化させることができ、等波長間隔の合分波回路を実現できる。

**【0019】**

また、前記干渉回路が二つの光合分波手段と、該光合分波手段に挟まれた光路長差付与部と、該光合分波手段に結合する一つ以上の入力導波路と二つ以上の出力導波路より構成されるマッハツェンダ干渉回路であり、該マッハツェンダ干渉回路の二つの光合分波手段が4つの光合分波手段と、隣接する光合分波手段に挟まれた3つの光路長差付与部によって構成されており、該光合分波手段が前記マッハツェンダ干渉回路の中間点に対し、左右対称に配置されていることにより（請求項4）、マッハツェンダ干渉回路の位相成分を透過帯域に対して効率的に変化させることができ、等波長間隔の合分波回路を実現できる。

#### 【0020】

また、前記干渉回路の少なくとも二つの出力が、アレイ導波路と、該アレイ導波路の両側に設けられた第一スラブ導波路及び第二スラブ導波路と、該第一スラブ導波路及び第二スラブ導波路に結合する1つ以上の入力導波路と2つ以上の出力導波路より構成されるアレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に入射することにより（請求項5）、波長特性の不自由さを解決し、任意のポートに任意の波長を出力することが可能な等波長間隔の合分波回路を実現できる。

#### 【0021】

また、前記干渉回路が二つの光合分波手段と、該光合分波手段に挟まれた2本の導波路より構成される光路長差付与部を備え、該干渉回路の一方の光合分波手段が一つ以上の入力導波路に結合され、該干渉回路の他方の光合分波手段が前記アレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に結合されていることにより（請求項6）、平坦な透過帯域を有する等波長間隔の合分波回路を実現できる。

#### 【0022】

また、前記等波長間隔合分波回路において、前記等波長間隔合分波回路の少なくとも一つの出力に、前記いずれかの等波長間隔合分波回路が一つ以上繋がれていることにより（請求項7）、等波長間隔の合分波回路を実現できる。

#### 【0023】

また、前記等波長間隔合分波回路において、前記光路長差付与部に位相調整手段を備えるか、若しくは位相調整を行ったことにより（請求項8）、合分波回路を作製した後にも、光路長差付与部の光路長を調整でき、光路長を精度良く設定

することができる。

#### 【 0 0 2 4 】

また、前記等波長間隔合分波回路において、前記干渉回路が石英系ガラス光導波路で構成されていることができる（請求項 9）。

#### 【 0 0 2 5 】

また、前記等波長間隔合分波回路において、前記等波長間隔合分波回路を内部に有する筐体と該筐体に保持され、前記等波長間隔合分波回路に信号の入出力を行う光ファイバを有することにより（請求項 1 0）、等波長間隔の合分波回路モジュールを実現できる。

#### 【 0 0 2 6 】

（作用）

本発明の等波長間隔合分波回路を用いることにより、波長軸上でも等周期の透過特性が得られるため、等波長間隔である光通信システムにも使用できる光デバイスを提供することができる。

#### 【 0 0 2 7 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

##### 〔第一の実施形態〕

本発明の第一実施形態における合分波回路を図 1 に示す。

本回路は 2 個の光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 と、これら 2 個の光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 に挟まれた 1 つの光路長差付与部分 1 0 7 と、光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路 1 0 1, 1 0 2 及び 1 0 3, 1 0 4 より構成されている。

この合分波回路の透過特性は、波長軸上において概ね等周期であり、波長軸上で概ね周期的になるよう波長間隔のずれを補正する手段を備えている。

具体的には、光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 のうち少なくとも一つは、出力の位相差が合分波回路の透過帯域に対して異なる光合分波手段を用いている。

#### 【 0 0 2 8 】

次にこのずれの補正手段について詳しく説明する。

一般的な波長と周波数の関係を図 2 に示す。

CWDM グリッド上の波長に対する周波数を、 $\nu = c / \lambda$  より求め、プロットしたものを等波長間隔と示した。

但し、 $\nu$  は周波数、 $c$  は光速、 $\lambda$  は波長である。

また 1 4 7 0 n m 近傍での周波数間隔  $\Delta \nu 1$  を求め ( $\approx 2.74 \text{ THz}$ )、1 4 7 0 n m における周波数を基準に、等しい周波数間隔で CWDM グリッドに対する周波数をプロットしたものを等周波数間隔 1 と示した。

1 4 7 0 n m 近傍では両者は一致しているが、1 4 7 0 n m から離れるほど両者のずれは大きくなっていく。

#### 【 0 0 2 9 】

このことは図 2 9 に示した従来のマッハツェンダ干渉計の透過特性の傾向と一致する。

即ち、1 4 7 0 n m 近傍ではクロスポートの透過率は高く、スルーポートのクロストークは低く抑えられているが、長波長側に離れるほど透過特性はグリッドからずれ、波長軸上における透過率は低くなり、クロストークは劣化する。

そこで、図 2 の等波長間隔と等周波数間隔 1 のずれを補正するため、このずれを線形部分と非線形部分に分け、次のように補正した。

まず、等波長間隔と等周波数間隔 1 のずれの線形部分の補正法について説明する。

#### 【 0 0 3 0 】

図 2 とは異なり、今度は 1 4 7 0 n m 近傍における周波数間隔と 1 6 1 0 n m 近傍における周波数間隔の平均値から周波数間隔  $\Delta \nu 2$  を求め ( $\approx 2.53 \text{ THz}$ )、図 3 に示すように、1 4 7 0 n m における周波数を基準に、等しい周波数間隔で CWDM グリッド上の波長に対する周波数をプロットしたものを等周波数間隔 2 と示した。

1 4 7 0 n m 付近では等波長間隔と等周波数間隔 2 は一致し、長波長側に移るにつれ若干ずれが生じ、1 6 1 0 n m 付近では再び両者は一致した。

このような線形部分の補正により、等波長間隔と等周波数間隔のずれはほとんど補正できることがわかる。

**【 0 0 3 1 】**

等波長間隔と等周波数間隔のずれの線形部分を補正したマッハツェンダ干渉計を図 4 に示す。

本回路は 2 個の光結合器 2 0 1, 3 0 1 と、これら 2 個の光結合器 2 0 1, 3 0 1 に挟まれた光路長差付与部分 1 0 7 と、光結合器 2 0 1, 3 0 1 に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路 1 0 1, 1 0 2 及び 1 0 3, 1 0 4 を有する。

なお、光結合器 2 0 1, 3 0 1 は方向性結合器を用いており、結合率は 5 0 % に設定してある。

従来のマッハツェンダ干渉計の光路長差付与部分における光路長差は  $\Delta L$  であるのに対し、本回路の光路長差は  $\Delta L' = \Delta L + \alpha$  に設定されている。

但し、 $\Delta L = 55.9 \mu\text{m}$ 、 $\alpha$  は波長オーダーの光路長であり、 $\alpha = 2 \cdot \lambda_c$  ( $\lambda_c$  は中心波長であり、例えば  $\lambda_c = 1.47 \mu\text{m}$  なら  $\alpha = 2.94 \mu\text{m}$  である) に設定した。

**【 0 0 3 2 】**

この時の透過特性の波長依存性を図 5 に示す。

図 3 に示した等波長間隔と等周波数間隔 2 のずれの傾向と同様に、波長軸上の真中では若干ずれているが、両端ではちょうどグリッド上に乗っている。

そのため、両端では波長軸上における透過率は高く、クロストークは低く抑えられており、特性は改善された。

このように、等波長間隔と等周波数間隔のずれの線形部分は、光路長差付与部に波長オーダーの補正を与えることにより補正できる。

しかし依然、波長軸上の中心部分には若干のずれがあり、この等波長間隔と等周波数間隔のずれの非線形部分を光合分波手段により補正する方法を次に説明する。

**【 0 0 3 3 】**

CWDM グリッド上の各波長に対し、図 3 で示した等波長間隔と等周波数間隔 2 の周波数ずれを周波数間隔  $\Delta \nu$  2 で割った値、即ち等波長間隔と等周波数間隔のずれの非線形部分の補正に必要な位相補正量をプロットした結果を図 6 に示した。

図6に示したような位相差の波長依存性を与えることにより、等波長間隔と等周波数間隔2のずれの非線形部分を補正することができる。

このような位相差の波長依存性を与える手段として、光合分波手段の出力の位相差が、干渉回路の透過帯域（本実施形態の場合1470～1610nm）に対して異なる光合分波手段を用いることにした。

#### 【0034】

出力の位相差の波長依存性が合分波回路の透過帯域に対して変化する光合分波手段の例を図7に示す。

この光合分波手段は4つの光結合器201～204と、隣接する光結合器201～204に挟まれた3つの光路長差付与部分205～207より構成されている。

4つの光結合器201～204の結合率を適切な値に設定し、3つの光路長差付与部205～207に適切な光路長差を与えることにより、この光合分波手段の結合率の値と、出力の位相差の波長依存性を任意に設定することができる。

図7に示した、出力の位相差の波長依存性を表す関数の例を示す。

波長と周波数の関係式 $\nu = c / \lambda$ において、 $m$ 番目の波長 $\lambda_m$ と $m$ 番目の周波数 $\nu_m = \nu_0 + m \Delta \nu$ の関係は、

#### 【0035】

#### 【数4】

$$\lambda_m = \frac{c}{\nu_0 + m \Delta \nu} \quad (5)$$

#### 【0036】

とあらわすことができる。

但し、 $m$ は整数、 $\Delta \nu$ は周波数間隔である。

この式は下記式のように展開することができる

#### 【0037】

## 【数 5】

$$\lambda_m = \frac{c}{\nu_0} \left\{ 1 - \frac{\Delta\nu}{\nu_0} m + \left( \frac{\Delta\nu}{\nu_0} \right)^2 m^2 \dots \right\} = \lambda_0 - \frac{\Delta\nu}{\nu_0} \lambda_0 m + \left( \frac{\Delta\nu}{\nu_0} \right)^2 \lambda_0 m^2 \dots \quad (6)$$

## 【0038】

上式において、第二項、第三項以降の項はそれぞれ波長と周波数の関係における線形部分、非線形部分をあらわす。

従って、等波長間隔と等周波数間隔のずれの非線形部分の補正量をあらわすのに非線形多項式、特に二次関数以上の多項式を用いれば良い近似となる。

例えば、二次の多項式による近似を行う場合、多重回帰近似を行った結果、図 7 の曲線は、

## 【0039】

## 【数 6】

$$\text{位相補正量: } \Phi \cong 8.12 \times 10^{-6} \lambda^2 - 0.025 \lambda + 19.2 \quad (7)$$

## 【0040】

と近似できた。

もちろん、二次関数以上の多項式には限定されず、任意の関数を用いて近似しても良い。

例えば、ガウス関数を用いて近似する場合は、近似式は、

## 【0041】

## 【数 7】

$$\text{位相補正量: } \Phi \cong 0.122 - \frac{37.94}{186.5\sqrt{0.5\pi}} \exp\left\{-\frac{2(x-1539.54)^2}{186.5^2}\right\}$$

## 【0042】

となった。

上記位相特性を与える光合分波手段の具体例を図 7 に示す。

光結合器 201, 202, 203, 204 は結合率がそれぞれ  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  の方向性結合器を用いるとし、光路長差付与部 205, 206, 207



の光路長差はそれぞれ  $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$  とした。

光合分波手段の出力の位相特性を上記 (7) 式の近似関数にフィッティングした結果、結合率  $r 1 = 82\%$ 、 $r 2 = 82\%$ 、 $r 3 = 82\%$ 、 $r 4 = 82\%$ 、光路長差  $\delta 1 = -1.13 \lambda c$ 、 $\delta 2 = 0.24 \lambda c$ 、 $\delta 3 = 1.13 \lambda c$  が得られた。

#### 【0043】

ここでは、光路長差付与部が3つ（光結合器が4つ）の光合分波手段を用いたが、光路長差付与部が2つでも良いし、4つでも良い。

光路長差付与部の数が多いほど光合分波手段の位相特性を表現する自由度が高まり、よりフィッティングの精度が高まる。

しかし、光路長差付与部の数が増えるほど回路サイズが大きくなるため、十分な近似度が得られる最小限の光長差付与部数で光合分波手段を構成することが望ましい。

光路長差付与部の数が6つ（光結合器が7つ）を超えると、例えば図9に示した構成の場合、回路全体の光路長差付与部の数が13を超え、回路サイズが大きくなってしまうため、光路長差付与部の数は6つ以下に設定するのが望ましい。

#### 【0044】

もちろん、光路長差付与部の大きさは導波路の比屈折率差、光路長、光結合器の結合率、回路構成などにより変化し、必要な位相補正量は、使用する光結合器の波長依存性、導波路材料の特性、分波間隔、回路構成などにより変化するため、作製する回路に合わせて光路長差付与部の数を設定すれば良い。本実施例図9の干渉回路の最適は三つである。

光結合器の二つの出力ポートから出力される光信号の位相差の波長依存性を図8(a)に、結合率の波長依存性を図8(b)に示す。

なお、 $2\pi$ の位相差あたりの光路長の変化は  $1 \cdot \lambda c$  であり、 $\lambda c$  は中心波長、光路長差は一方の導波路（図では下側の光路）に対する他方の導波路の相対的な光路長であらわした。

#### 【0045】

この光合分波手段を従来の非対称マッハツェンダ干渉計に適用した。

ここでは非対称マッハツェンダ干渉計の従来の二つの光結合器をこの光合分波手段で置き換えることにしたので、図 8 (a) に示すように一つの光合分波手段あたりに必要な位相補正量は図 6 に示した値の半分である。

もちろん、非対称マッハツェンダ干渉計の左右の光合分波手段で異なる位相補正量を与えても良いし、片側の光合分波手段のみで位相補正を行っても良い。

例えば、図 1 において、光合分波手段 1 1 1 として出力の位相差が一定である従来の光結合器を用い、光合分波手段 1 1 2 として出力の位相差が合分波器の透過帯域に対して変化する光合分波手段、具体的には光路長差付与部が 6 つ（光結合器が 7 つ）の光合分波手段を用い、この片側の光合分波手段のみで図 8 に示した位相補正量、結合率を実現しても同様の効果が得られる。

このように干渉回路を構成する光合分波手段の一つが、出力の位相差が透過帯域に対して変化する光合分波手段である場合にも等波長間隔回路になり、光合分波手段の光路長差付与部の数が多いほど、前述のように近似度が高まる。

しかし、光合分波手段の光路長差付与部の数が 12 個（光結合器が 13 個）を超えると、干渉回路全体の光路長差付与部の数が 13 を超え、回路サイズが大きくなってしまうため、極力最小限の数の光路長差付与部を用いるのが望ましい。

#### 【0046】

図 8 (a) より、図 7 に示す光合分波手段の出力ポートより出力される光信号の互いの位相差には 2 次関数以上の多項式で与えられる波長依存性があり、等波長間隔と等周波数間隔のずれの非線形部分の補正に必要な位相補正量を示す曲線と一致することがわかる。

また、この光合分波手段の結合率の波長依存性は小さいため、この光合分波手段を用いた合分波回路の透過特性の波長依存性は小さいと予想される。

上記光合分波手段を、図 1 の合分波回路を構成する二つの光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 として用いた場合の透過特性の波長依存性を図 10 に示した。

光路長差付与部分 1 0 7 の光路長差は  $\Delta L' = \Delta L + \alpha$  であり、 $\Delta L = 55.9 \mu\text{m}$ 、 $\alpha = 3.5 \cdot \lambda_c$ （ $\lambda_c$  は中心波長であり例えば  $\lambda_c = 1.47 \mu\text{m}$  なら  $\alpha = 5.145 \mu\text{m}$  である）に設定した。

#### 【0047】

また、二つの光合分波手段の与える位相差が互いに強め合うようにするため、例えば図 9 に示したように、光路長差付与部 1 0 7 の中間点（図の点線）に対し、光合分波手段が互いに左右対称になるよう配置した。

等波長間隔と等周波数間隔のずれの線形部分は光路長差付与部で補正され、等波長間隔と等周波数間隔のずれの非線形部分は、更に出力の位相差が波長依存性を持つ光合分波手段で補正されたことにより、透過特性の波長依存性は全波長範囲で C W D M グリッド上に乗っている。

また透過特性の波長依存性は小さく、全波長領域にわたってクロストークが良好である。

#### 【 0 0 4 8 】

上記合分波回路は、火炎堆積法、フォトリソグラフィ、反応性イオンエッチングを用いてシリコン基板上に石英系光導波路を形成することにより作製した。

導波路の比屈折率差は 0 . 7 5 %、導波路のコア厚は 7  $\mu$  m、コア幅は 7  $\mu$  m となるよう製造した。

作製した回路は基板から切断した後、ファイバを接続し、モジュール化した。

上記実施例で用いた導波路材料では、使用する波長帯域における屈折率の波長依存性が小さかったため、屈折率は定数であると仮定した。

しかし、屈折率の波長依存性が大きい場合には、図 3 に示す等波長間隔と等周波数間隔の関係を表すグラフが変化する。

#### 【 0 0 4 9 】

その場合にも、屈折率の波長依存性を考慮して図 8 のような波長に対する位相補正量を導出し、例えば多重回帰近似により光合分波手段の出力の位相特性を適切に設定すれば屈折率の波長依存性も含めて、屈折率が一定の場合と同様に等波長間隔と等周波数間隔のずれを補正することができる。

また、上記合分波回路では光デバイスを実現する最低限の構成のみを説明したが、例えば合分波回路の偏波依存性を低減する手段や、温度依存性を低減する手段などが施されていても良い。

以上、本発明の合分波回路を用いることにより、等波長間隔の光デバイスが実

現できた。

### 【0050】

#### 〔第二の実施形態〕

本発明の第二実施形態における合分波回路を図11に示す。

本回路は出力の位相差が透過帯域に対して異なる二つの光合分波手段111, 112と、これら2個の光合分波手段に挟まれた1つの光路長差付与部分107と、光合分波手段111, 112に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路101, 102と103, 104より構成されている。

また、二つの光合分波手段111, 112は、例えば、図12に示すように、4つの光結合器201～204と、隣接する光結合器201～204に挟まれた3つの光路長差付与部分205～207より構成されている。

### 【0051】

この合分波回路の透過特性は、波長軸上において概ね等周期であり、波長軸上で概ね周期的になるよう等波長間隔と等周波数間隔のずれが光路長差付与部と、出力の位相差が合分波回路の透過帯域に対して異なる光合分波手段により補正されている。

光干渉回路の特性は、一般に光路長差付与部分の光路長に依存し、作製誤差により光路長が設定値よりずれば、設定通りの特性が得られない。

そこで、本実施形態の合分波回路は、光路長差付与部分の光路長を精度良く設定するため、光路長差付与部に位相調整手段を備えている。

図11に示すように、等波長間隔のマッハツェンダ干渉計の光路長差付与部分107に位相調整手段401を備えており、位相調整を行うことにより光路長差 $\Delta L' = \Delta L + \alpha$ を変化させることができる。

### 【0052】

また、図12に示すマッハツェンダ干渉計を構成する光合分波手段の光路長差付与部分205～207に位相調整手段401を備えており、位相調整を行うことにより光路長差 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$ を変化させることができる。

最小二乗曲線近似により、位相補正量 $\Phi \div 8.12 \times 10^{-6} \lambda^2 - 0.025 \lambda + 19.2$ が得られた。

このような位相特性を与える光合分波手段 111, 112 を構成する光結合器 201, 202, 203, 204 は、結合率がそれぞれ  $r_1 = 82\%$ 、 $r_2 = 82\%$ 、 $r_3 = 82\%$ 、 $r_4 = 82\%$  の方向性結合器を用いるとし、光路長差付与部 205, 206, 207 の光路長差をそれぞれ位相調整器で調整することにより、光路長差  $\delta_1 = -1.13\lambda_c$ 、 $\delta_2 = 0.24\lambda_c$ 、 $\delta_3 = 1.13\lambda_c$  に設定した。

#### 【0053】

また、マッハツェンダ干渉計の光路長差付与部分 107 の光路長差は位相調整器で調整することにより  $\Delta L' = \Delta L + \alpha$  ( $\Delta L = 55.9\mu\text{m}$ 、 $\alpha = 3.5\lambda_c$ ) となるよう設定した。

その結果、図 10 に示した特性のように、等波長間隔と等周波数間隔のずれが補正されたことにより、透過特性は全波長範囲で CWDM グリッドにほぼ一致している。

また透過特性の波長依存性は小さく、全波長領域にわたってクロストークが良好である。

本実施形態では光路長差付与部に位相調整手段を備えているため、位相調整により光路長を任意に変化させることができる。

#### 【0054】

そこで、図 14, 15 に示したように三つの光路長差付与部 205, 206, 207 における光路長差が 0 である光合分波手段 111, 112 を用い、位相調整手段により二つの光路の光路長を変化させることにより光路長差を与えても良い。

位相調整は図 14 に示したように光路長差付与部における一方の導波路のみに行っても良いし、図 15 に示したように光路長差付与部の両側の導波路に行っても良い。

また、図 14 の光路長差付与部 107 に示したように同一導波路に位相調整手段が数箇所設けられていても良いし、位相調整手段の形状、位置も自由に設定することができる。

#### 【0055】

もちろん、図 1 2 に示すように予め光路長差を与えておき、位相調整手段により任意に光路長を変化させても良い。

上記合分波回路は、図 1 3 に示すように、火炎堆積法、フォトリソグラフィ、反応性イオンエッチングを用いてシリコン基板 5 0 4 上に下部クラッド 5 0 3、コア 5 0 2、上部クラッド 5 0 1 を作製し、石英系光導波路を形成することにより作製した。

また、光導波路を形成後、光導波路上に位相調整手段 4 0 1 として薄膜ヒータを形成した。

#### 【 0 0 5 6 】

導波路の比屈折率差は 0 . 7 5 %、導波路のコア厚は  $7 \mu\text{m}$ 、コア幅は  $7 \mu\text{m}$  となるよう製造した。

作製した回路は基板から切断した後、ファイバを接続し、モジュール化した。

位相変化には薄膜ヒータを用い、導波路を局所加熱することにより導波路の屈折率を変化させて光路長の調整を行った。

ここでは位相調整手段 4 0 1 として薄膜ヒータによる熱光学効果を用いる例を示したが、例えば、レーザなどによる光照射を用いても良いし、電気光学効果、磁気光学効果など位相調整ができればどのような手段を用いても良い。

#### 【 0 0 5 7 】

上記実施例で用いた導波路材料では、使用する波長帯域における屈折率の波長依存性が小さかったため、屈折率は定数であると仮定した。

しかし、屈折率の波長依存性が大きい場合には、図 3 に示す等波長間隔と等周波数間隔の関係をあらわすグラフが変化する。

その場合にも、屈折率の波長依存性を考慮して波長に対する位相補正量を導出し、例えば最小二乗曲線近似により光合分波手段の出力の位相特性を適切に設定すれば、屈折率の波長依存性も含めて、屈折率が一定の場合と同様に等波長間隔と等周波数間隔のずれを補正することができる。

また、上記合分波回路では光デバイスを実現する最低限の構成のみを説明したが、例えば合分波回路の偏波依存性を低減する手段や、温度依存性を低減する手

段が施されていても良い。

以上、本発明の合分波回路を用いることにより、等波長間隔の合分波回路が実現できた。

#### 【0 0 5 8】

##### 〔第三の実施形態〕

本発明の第三実施形態における合分波回路を図 1 6 に示す。

本回路は三つの光合分波手段 1 1 1, 1 1 2, 1 1 3 と、これら 3 個の光合分波手段に挟まれた 2 つの光路長差付与部分 1 0 7, 1 0 8 と、光合分波手段 1 1 1 に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路 1 0 1, 1 0 2 と、光合分波手段 1 1 3 に接続するそれぞれ二本の入出力光導波路 1 0 3, 1 0 4 より構成されている。

ここで、光路長差付与部分 1 0 7 の光路長差は  $\Delta L 1' = \Delta L 1 + \alpha 1$ 、光路長差付与部分 1 0 8 の光路長差は  $\Delta L 2' = \Delta L 2 + \alpha 2$  に設定されており、 $\alpha 1$ ,  $\alpha 2$  は第一実施形態で説明した波長オーダーの光路長である。

また、三つの光合分波手段のうち少なくとも一つは、出力の位相差が光干渉計の透過帯域に対して異なる光合分波手段を用いている。

#### 【0 0 5 9】

第一、二の実施形態では従来のマッハツェンダ干渉計の構成をもとにした等波長間隔合分波回路であったが、本実施形態では、光路長差付与部 1 0 7, 1 0 8 におけるそれぞれの光路長差が  $\Delta L 1 = \Delta L$ 、 $\Delta L 2 = 2 \cdot \Delta L + \pi$ 、光合分波手段 1 1 1, 1 1 2, 1 1 3 の分岐比がそれぞれ概ね 5 0 %、7 0 %、1 0 % である従来のラティス・フィルタの構成（非特許参考文献：M. Oguma et al., "Flat-passband interleave filter with 200 GHz channel spacing based on planar lightwave circuit-type lattice structure," Electronics Letters 2000. Vol. 36, pp. 1299 - 1300）をもとにしている。

本合分波回路の場合にも、第一の実施形態で説明した方法により、等周波数間隔の合分波回路を等波長間隔にすることができる。

本実施形態の合分波回路の透過特性の波長依存性を図 1 7 に示す。

#### 【0 0 6 0】

この合分波回路は、光路長差付与部と出力の位相差が合分波回路の透過帯域に対して変化する光合分波手段を用いることにより、等波長間隔と等周波数間隔のずれが補正されている。

その結果、波長軸上において概ね等周期の光合分波回路となっている。

本実施形態の合分波回路を構成する光合分波手段の一つとして、 $N+1$ 個 ( $N$ は3以上の整数)の光結合器と、隣接する光結合器に挟まれた $N$ 個の光路長差付与部分を有する光合分波手段を用いても良い。

例えば、図18の合分波回路では、光合分波手段111, 113としては図7に示した光合分波手段を用いており、光合分波手段112としては、マッハツェンダ型光カップラを用いている。

#### 【0061】

また、本実施形態の光合分波回路の光路長差付与部に位相調整手段が設けられていても良い。

そして、三つの光路長差付与部における光路長差がそれぞれ0である光合分波手段(図18の111, 113)を用い、位相調整手段により二つの光路の光路長を変化させることにより光路長差を与えても良い。

もちろん、図12に示したように予め光路長差を与えておき、位相調整手段により光路長を任意に変化させても良い。

更に、光合分波手段112の場合、光路長差付与部における光路長差を変化させることにより、マッハツェンダ型の分岐比可変の光カップラとして機能させることもできる。

#### 【0062】

上記合分波回路は、図13に示すように、火炎堆積法、フォトリソグラフィ、反応性イオンエッチングを用いてシリコン基板504上に下部クラッド503、コア502、上部クラッド501を作製し、石英系光導波路を形成することにより作製した。

また、光導波路を形成後、光導波路上に位相調整手段401として薄膜ヒータを形成した。

導波路の比屈折率差は0.75%、導波路のコア厚は $7\mu\text{m}$ 、コア幅は $7\mu\text{m}$



となるよう製造した。

作製した回路は基板から切断した後、ファイバを接続し、モジュール化を行った。

位相変化には薄膜ヒータを用い、導波路を局所加熱することにより導波路の屈折率を変化させて光路長の調整を行った。

#### 【0063】

ここでは位相調整手段 401 として薄膜ヒータによる熱光学効果を用いる例を示したが、例えば、レーザなどによる光照射を用いても良いし、電気光学効果、磁気光学効果など位相調整ができればどのような手段を用いても良い。

上記実施例で用いた導波路材料では、使用する波長帯域における屈折率の波長依存性が小さかったため、屈折率は定数であると仮定した。

しかし、屈折率の波長依存性が大きい場合には、図 3 に示す等波長間隔と等周波数間隔の関係をあらわすグラフが変化する。

その場合にも、屈折率の波長依存性を考慮して波長に対する位相補正量を導出し、非線形多項式近似により光合分波手段の出力の位相特性を適切に設定すれば、屈折率の波長依存性も含めて、屈折率が一定の場合と同様に等波長間隔と等周波数間隔のずれを補正することができる。

#### 【0064】

また、上記合分波回路では光デバイスを実現する最低限の構成のみを説明したが、例えば合分波回路の偏波依存性を低減する手段や、温度依存性を低減する手段が施されていても良い。

本実施形態では、本発明をラティス・フィルタに適用することにより、マッハツェンダ干渉計以外の干渉回路にも適用可能であることを示した。

例えば、ラティス・フィルタ以外にも、多段マッハツェンダ干渉回路、トランスバーサル・フィルタ等、その他の干渉回路であっても本発明は適用可能である。

また、1 入力 2 出力の干渉回路だけでなく、任意本数の入出力を持つ干渉回路に適用することができる。

以上、本発明の合分波回路を用いることにより、等波長間隔の合分波回路が実

現できた。

#### 【0 0 6 5】

##### 〔第四の実施形態〕

本発明の第四実施形態における合分波回路を図 1 9 に示す。

本回路は、二つの光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 と、これら 2 個の光合分波手段に挟まれた 1 つの光路長差付与部分 1 0 7 と、光合分波手段 1 1 1 に接続する入力導波路 1 0 1, 1 0 2 より構成されている干渉回路において、光合分波手段 1 1 2 の二つの出力がアレイ導波路 6 0 3 と、アレイ導波路の両側に設けられた第一スラブ導波路 6 0 2 及び第二スラブ導波路 6 0 4 と、第二スラブ導波路に結合する 8 つの出力導波路 6 0 5 より構成されるアレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路 6 0 2 に入射されている。

なお、干渉回路の二つの出力導波路を第一スラブ導波路 6 0 2 に接続する場合は、その接点の形状は任意であり、例えばテーパ導波路など形状が変化する光導波路がスラブ導波路に接続されていても良い。

#### 【0 0 6 6】

ここで、光合分波手段のうち少なくとも一つは、出力の位相差が、干渉回路の透過域に対して異なるものを使用している。

本実施形態の合分波回路は、従来のマッハツェンダ干渉回路の二つの出力をアレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に入射させる構成（特許文献：特開平 1 1 - 1 0 9 1 4 7 号公報、第 6 図）をもとにしている。

従来の構成の場合、前段に設けられた干渉回路は等周波数間隔であったため等波長間隔のシステムに用いるには適していなかった。

しかし、本実施形態で示す構成のように、前段に等波長間隔の合分波回路を用いれば、後段のアレイ導波路回折格子の出力波長間隔を前段に合わせることで、回路全体として等波長間隔の光回路となる。

#### 【0 0 6 7】

また、マッハツェンダ干渉回路を構成する光合分波手段 1 1 2 がアレイ導波路回折格子の第一スラブ導波路に結合された構成（特許文献：特開平 8 - 6 9 0 2 1 号公報、6 図、及び第 7 図）をもとにした図 2 0 の構成を取ることにもできる。

ここで、光合分波手段がスラブ導波路に結合された構成とは、例えば、図 7 に示した光合分波手段を光合分波手段 1 1 2 として用いる場合は、光結合器 2 0 4 がスラブ導波路に直接結合されていることを指す。

また、光合分波手段 1 1 1 が、6 つの光結合器と隣接する光結合器に挟まれた 5 つの光路長差付与部分より構成され、光合分波手段 1 1 2 が方向性結合器、マルチモード干渉カップラ、可変カップラなどの光結合器で構成されていても良い。

更に、図 2 1 に示すように、前段のマッハツェンダ干渉回路の光路長差付与部の一方、若しくは両方の導波路に位相調整手段が設けられていても良い。

#### 【0 0 6 8】

位相調整手段を用いることにより前段のマッハツェンダ干渉回路と後段のアレイ導波路回折格子の波長を合わせることができる（非特許文献：C. R. Doerr et al., "Compact and low-loss integrated flat-top passband demux " 27th European Conference on Optical Communication ECOC' 01 Vol. 6, pp. 24-25）。

本実施形態の合分波回路は、火炎堆積法、フォトリソグラフィ、反応性イオンエッチングを用いて石英系光導波路をシリコン基板上に形成した。

導波路の比屈折率差は 0. 7 5 %、導波路のコア厚は 7  $\mu$  m、コア幅は 7  $\mu$  m となるよう製造した。

作製した回路は基板から切断した後、ファイバを接続しモジュール化を行った。

#### 【0 0 6 9】

前段のマッハツェンダ干渉回路の光路長差付与部に位相調整手段 4 0 1 を施した後の合分波回路を図 2 1 に示し、その特性を図 2 2 に示す。

前段の干渉回路は等周波数間隔であり、後段のアレイ導波路回折格子の出力波長間隔を前段に合わせることで、回路全体として等波長間隔の特性が得られた。

また、本構成の回路は、透過帯域が平坦なため、光通信システムで用いるのに適している。

上記実施例で示した構成では、前段に等波長間隔のマッハツェンダ干渉回路を用いたが、これには限定されず、第 3 実施形態で示したようなラティス・フィル

タ型、多段マッハツェンダ型、トランスバーサル・フィルタ型、その他の干渉回路等、任意の等波長間隔の合分波回路を使用しても良い。

また、後述する（第 5 の実施形態）合分波回路が複数繋がれている等波長間隔合分波回路を前段に用い、その少なくとも二つの出力がアレイ導波路回折格子のスラブ導波路に入射するようにしてもよい。

#### 【 0 0 7 0 】

##### 〔第五の実施形態〕

本発明の第五実施形態における合分波回路を図 2 3 に示す。

本回路は、前段の等波長間隔合分波回路 8 0 1 と、等波長間隔合分波回路 8 0 1 の二つの出力にそれぞれ接続された後段の等波長間隔合分波回路 8 0 2 , 8 0 3 により構成されている。

ここで、前段の合分波回路は波長間隔が 2 0 n m の等波長間隔マッハツェンダ干渉回路であり、後段の合分波回路は波長間隔が 4 0 n m の等波長間隔マッハツェンダ干渉回路である。

更に、前段と後段の干渉回路で入力光が 4 つの出力に分波されるように位相が設定されている。

#### 【 0 0 7 1 】

このように、本発明の等波長間隔合分波回路が複数個繋がれた構成を取ることにより、1 入力 4 出力の等波長間隔合分波回路を実現した。

もちろん、本実施形態の等波長間隔合分波回路も、第 2 実施形態で説明したように、光路長差付与部分に位相調整手段を備えていても良い。

この位相調整手段により位相を調整しても良いし、例えば、等波長間隔合分波回路 8 0 2 の光路長差付与部に  $\pi$  の位相変化を与えれば、 $\lambda 1$  と  $\lambda 3$  が出力されるポートが入れ替わる。

また、図 2 3 に示した前段の干渉回路の出力導波路と後段の干渉回路の入力導波路を接続する方法は一つの例であり、入出力導波路の構成を変えれば、出力される波長の出力ポートが変化する。

#### 【 0 0 7 2 】

また、本実施形態の合分波回路は等波長間隔マッハツェンダ干渉回路を複数接

・続しているが、例えば、前段に第一実施形態で説明した等波長間隔マッハツェンダ干渉回路（波長間隔 2 0 n m）を用い、後段に第三実施形態で説明した等波長間隔ラティス・フィルタ（波長間隔 4 0 n m）を用いても良い。

このように、任意の等波長間隔合分波器回路を複数台繋ぐことにより 1 入力 N 出力の等波長間隔合分波回路が実現できる。

更に、図 2 4 に示したように、等波長間隔合分波回路 8 0 1 の二つの出力にアレイ導波路回折格子 8 0 4, 8 0 5 を接続しても良い。

### 【 0 0 7 3 】

そうすれば、前段の等波長間隔合分波回路 8 0 1 により波長が奇数と偶数チャネルに合分波され、後段のアレイ導波路回折格子 8 0 4, 8 0 5 により個々の波長に合分波される。

従って、同様に 1 入力 N 出力の等波長間隔合分波回路が実現できる。

もちろん、上記等波長間隔合分波回路の任意の光路長差付与部分に位相調整を行っても良い。

### 【 0 0 7 4 】

#### 〔その他の実施形態〕

以上述べた各実施形態では、等波長間隔合分波回路をシリコン基板上に形成された石英系光導波路を用いて作製したと説明したが（作製例は、Kawachi, M. : 'Silica Waveguides on Silicon and Their Application to Integrated-Optic Components'. Opt. Quantum Electron., 1990, 22, pp.391-416）、本発明の合分波回路の構成は光導波路の種類、形状、材料によらない。

例えばその導波路材料がポリイミド、シリコン、半導体、 $\text{LiNbO}_3$ などであっても良いし、基板材質が石英などであっても良い。

また、例えばその製造方法が、スピンコート法、ゾルゲル法、スパッタ法、CVD法、イオン拡散法、イオンビーム直接描画法などであっても本発明は適用可能である。

### 【 0 0 7 5 】

また、各実施形態で述べた等波長間隔合分波回路を、例えば図 2 5 に示した光通信システムに使用しても良い。

本発明の等波長間隔合分波回路 8 0 1 に光信号を入力すると波長分割多重され、合波された光信号は光ファイバ 8 0 7 を伝った後、本発明の等波長間隔合分波回路 8 0 2 で分波され波長ごとに信号が受信される。

また、各実施形態で述べた等波長間隔合分波回路の光モジュールは、次のように組み立てた。

#### 【 0 0 7 6 】

光モジュールは、図 2 6 に示すように、熱伝導性の良い筐体 7 0 1 の内部にペルチェ保持板 7 0 2 を固定ネジ 7 0 3 で固定し、図示はしないがペルチェ保持板 7 0 2 を掘削して作製した凹部にペルチェ素子と温度センサ（熱伝対）をその近傍に配青している。

ペルチェ素子、及び温度センサの直上に等波長間隔合分波回路 7 0 4 が来るように配置している（図示せず）。

P L C チップ 7 0 4 の端部にはガラス板 7 0 5 を接着剤で接着し、ファイバ 7 0 6 を保持しているファイバブロック 7 0 7 と光結合するように接着している。

#### 【 0 0 7 7 】

ファイバ 7 0 6 は筐体 7 0 1 の縁に設けた凹部に断熱性弾性接着剤 7 0 8 で接着しており、更にファイバコード 7 0 9 を有するファイバブーツ 7 1 0 を筐体 7 0 1 に埋め込むように保持している。

P L C チップ 7 0 4 はペルチェ保持板に断熱性弾性接着剤 7 0 8 で接されている。

最後に、これらを被うように蓋をかぶせてネジ止めし本発明の光モジュールを組み立てた。

なお、蓋とネジ止め部は図示していない。

なお、発明の等波長間隔合分波回路を異なるチップとして作製する場合もあるが、それらをチップ間で直接接続することにより一つのチップにしても良いし、複数チップ間で光を結合させ、光モジュールを形成しても良い。

また、それぞれのチップごとに別々の光モジュールを作製し、光モジュール間をファイバで結合しても同様の特性が得られた。

#### 【 0 0 7 8 】

更に、図示はしないが、一つの筐体内部に上記2つ以上のチップをそれぞれペルチェ保持板の上に保持させた光モジュールも同様の特性が得られた。

更に、例えば積層導波路や光ファイバなどを用いて光導波路を構成しても良いし、平面光導波路と光ファイバなど、複数種類の光導波路を組み合わせて構成しても良い。

もちろん、本発明の合分波器は導波路に限定されず、光を空間中に伝搬させた空間光学系で干渉回路を構成しても良い。

例えば、この空間光学系は半透明鏡、全反射鏡、多層膜などにより構成されていても良い。

#### 【0079】

図27に空間光学系を用いたマッハツェンダ干渉計の構成例を示す。

このように、空間光学系を用いても、回路を導波路で構成した場合と同様の合分波器が実現できる。

また、以上に述べた各実施形態における合分波回路は、本発明の構成例の一つであり、これらの構成に限定されるものではない。

以上、各実施形態で用いた光路長差付与部分と光結合器より構成される光合分波手段は位相特性が波長依存性を持つ光合分波手段の一例であり、出力の位相差が透過帯域に対して変化する、その他の光合分波手段を用いても良い。

更に、上記光合分波手段を構成する光結合器として方向性結合器以外にもマルチモード干渉カップラ、可変カップラ、X分岐、Y分岐など任意の種類のものを用いることができる。

更に、また、上記光合分波手段に与えた結合率や光路長差付与部の光路長差の値も一つの例であるし、例えば図7の光合分波手段を構成する光結合器の結合率  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  を等しい値に設定したが、これらが異なっても良い。

#### 【0080】

このように説明したように、MZ（マッハツェンダ）干渉計の合分波回路において、従来は透過する波長のそれぞれの間隔が不均一であり、中心波長から離れるに従って波長グリッドからずれ、等周波数間隔となっていた。

本発明は、このずれを補正することによって、MZ合分波回路を等周波数間隔から等波長間隔へフィットさせた等波長間隔合分波回路である。

補正する設計指針としては、等波長間隔と使用波長域の上下における上記のずれを線形部分と非線形部分とに分け、線形部分は、ずれの平均値を算出し位相調整により補正する回路とした。

非線形部分は2次以上の多項式にフィットするように複数のMZ素子を縦列接続させた。

更に、これらを組み合わせることで、ずれを補正するものである。

また、位相調整を位相調整手段、具体的にはヒーター加熱によって行なうものである。

#### 【0081】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明では、等波長間隔のCWDMシステムでも使用することができる等波長間隔合分波回路を実現した。マッハツェンダ干渉計で、グリッドごとに光路長差 $\Delta L$ が変化するような仕組みを光結合器部分で与えることにより、透過帯をグリッドに一致させた。この工夫により、本発明の合分波回路は、異なる波長でも透過帯がグリッドに乗っているため挿入損失、透過帯域幅、消光比が波長グリッドによらずに一定であり、波長依存性が小さく抑えられている。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第一実施形態における合分波回路の構成図である。

##### 【図2】

波長と周波数の関係を示すグラフである。

##### 【図3】

波長と周波数の関係を示すグラフである。

##### 【図4】

波長と周波数のずれの線形部分を補正したマッハツェンダ干渉計の構成図である。



**【図 5】**

波長と周波数のずれの線形部分を補正したマッハツェンダ干渉計の透過特性の波長依存性を示すグラフである。

**【図 6】**

波長と周波数のずれの非線形部分の補正に必要な位相補正量の波長依存性を示すグラフである。

**【図 7】**

波長依存性のある位相特性を持つ光合分波手段の構成図である。

**【図 8】**

光合分波手段の出力ポートより出力される光信号の（a）位相差の波長依存性、（b）結合率の波長依存性を示すグラフである。

**【図 9】**

光路長差付与部の中間点（図の点線）に対し、光合分波手段が互いに左右対称になるよう配置されている様子を示す図である。

**【図 1 0】**

本発明の第一実施形態における等波長間隔マッハツェンダ干渉計の透過特性の波長依存性を示すグラフである。

**【図 1 1】**

本発明の第二実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 1 2】**

位相調整手段を備えた光合分波手段を示す図である。

**【図 1 3】**

位相調整手段を備えた合分波回路の切断面図である。

**【図 1 4】**

本発明の第二実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 1 5】**

本発明の第二実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 1 6】**

本発明の第三実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 1 7】**

本発明の第三実施形態における合分波回路の透過特性の波長依存性を示すグラフである。

**【図 1 8】**

本発明の第三実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 1 9】**

本発明の第四実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 2 0】**

本発明の第四実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 2 1】**

本発明の第四実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 2 2】**

本発明の第四実施形態における合分波回路の透過特性の波長依存性を示すグラフである。

**【図 2 3】**

本発明の第五実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 2 4】**

本発明の第五実施形態における合分波回路の構成図である。

**【図 2 5】**

本発明の等波長間隔合分波回路の使用例を示すブロック図である。

**【図 2 6】**

本発明の等波長間隔合分波回路を用いた光モジュールを示す斜視図である。

**【図 2 7】**

空間光学系を用いたマッハツェンダ干渉計の構成例を示す図である。

**【図 2 8】**

従来のマッハツェンダ干渉計の構成図である。

**【図 2 9】**

従来のマッハツェンダ干渉計において、横軸を波長とした場合の透過特性を示すグラフである。

**【図 3 0】**

従来のマッハツェンダ干渉計において、横軸を光周波数とした場合の透過特性を示すグラフである。

**【符号の説明】**

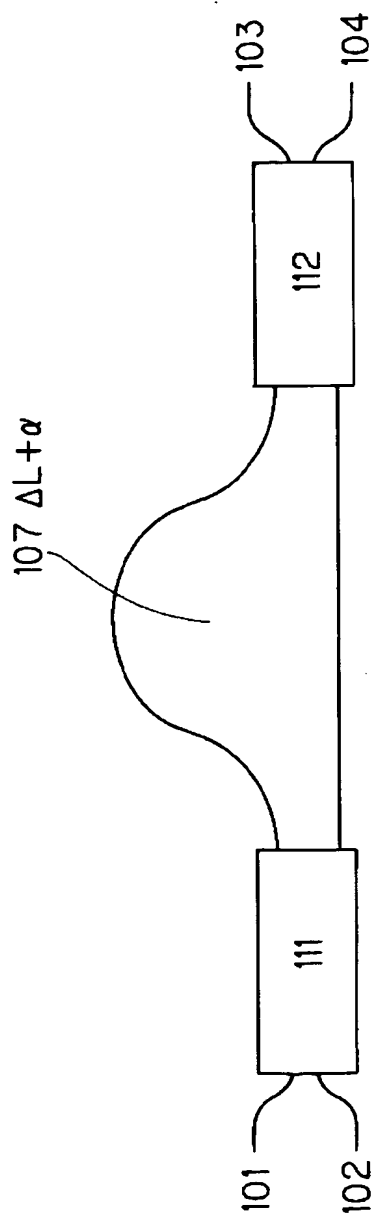
- 1 0 1, 1 0 2, 1 0 3, 1 0 4 入出力導波路
- 2 0 1, 2 0 2, 2 0 3, 2 0 4 光結合器
- 2 0 8, 2 0 9 光結合器
- 3 0 1, 3 0 2, 3 0 3, 3 0 4 光結合器
- 1 0 7, 1 0 8 光路長差付与部分
- 1 1 1, 1 1 2, 1 1 3 波長依存性のある位相特性を持つ光合分波手段
- 2 0 5, 2 0 6, 2 0 7 光路長差付与部分
- 2 1 0 光路長差付与部分
- 3 0 5, 3 0 6, 3 0 7 光路長差付与部分
- 4 0 1 位相調整手段
- 5 0 1 上部クラッド
- 5 0 2 コア
- 5 0 3 下部クラッド
- 5 0 4 基板
- 6 0 1 アレイ導波路回折格子の入力導波路
- 6 0 2 第一スラブ導波路
- 6 0 3 アレイ導波路（光路長差付与部）
- 6 0 4 第二スラブ導波路
- 6 0 5 アレイ導波路回折格子の出力導波路
- 7 0 1 筐体
- 7 0 2 ペルチェ保持板
- 7 0 3 固定ねじ
- 7 0 4 P L C（石英系光導波路回路）チップ
- 7 0 5 ガラス板
- 7 0 6 ファイバ

- 7 0 7 ファイバブロック
- 7 0 8 断熱性弾性接着剤
- 7 0 9 ファイバコード
- 7 1 0 ファイバブーツ
- 8 0 1, 8 0 2, 8 0 3 等波長間隔合分波回路
- 8 0 4, 8 0 5 アレイ導波路回折格子
- 8 0 6 送信器
- 8 0 7 ファイバ
- 8 0 8 受信器
- 8 0 9 全反射鏡
- 8 1 0 半透明鏡
- 9 0 1, 9 0 2, 9 0 3, 9 0 4 入出力導波路
- 9 0 5, 9 0 6 光結合器
- 9 0 7 光路長差付与部分

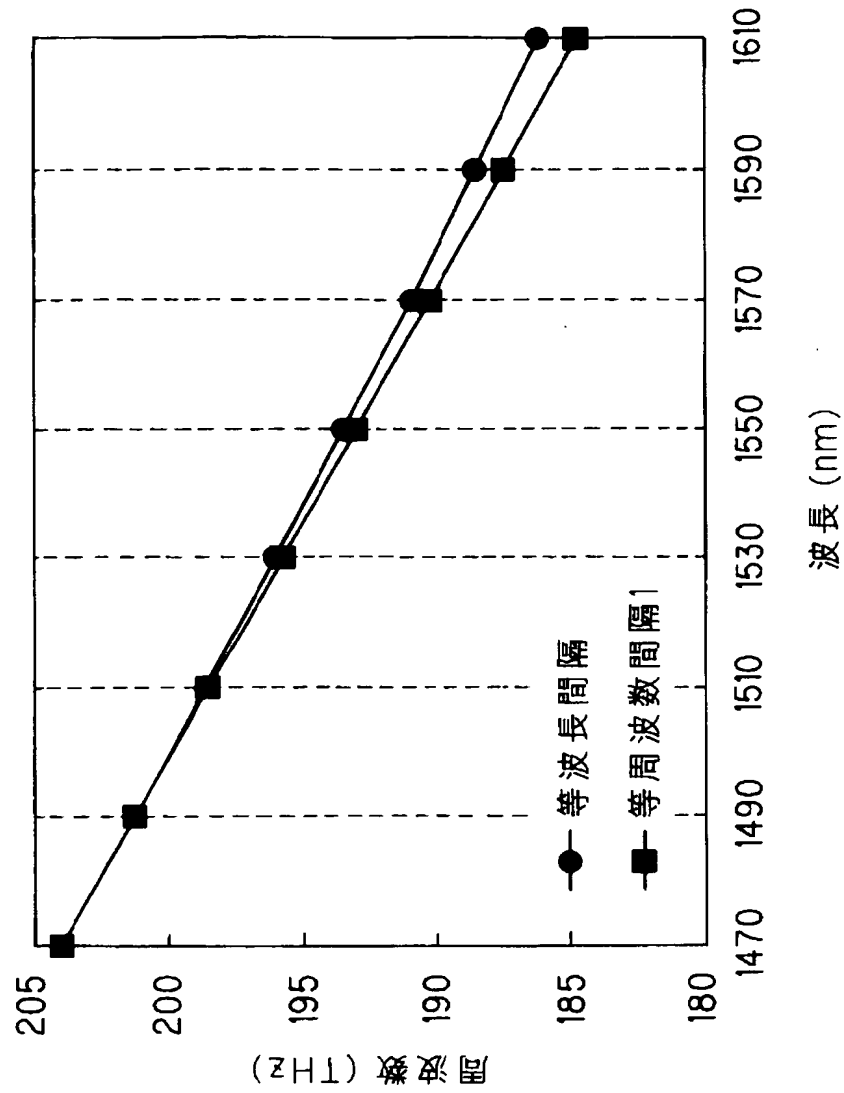
【書類名】

図面

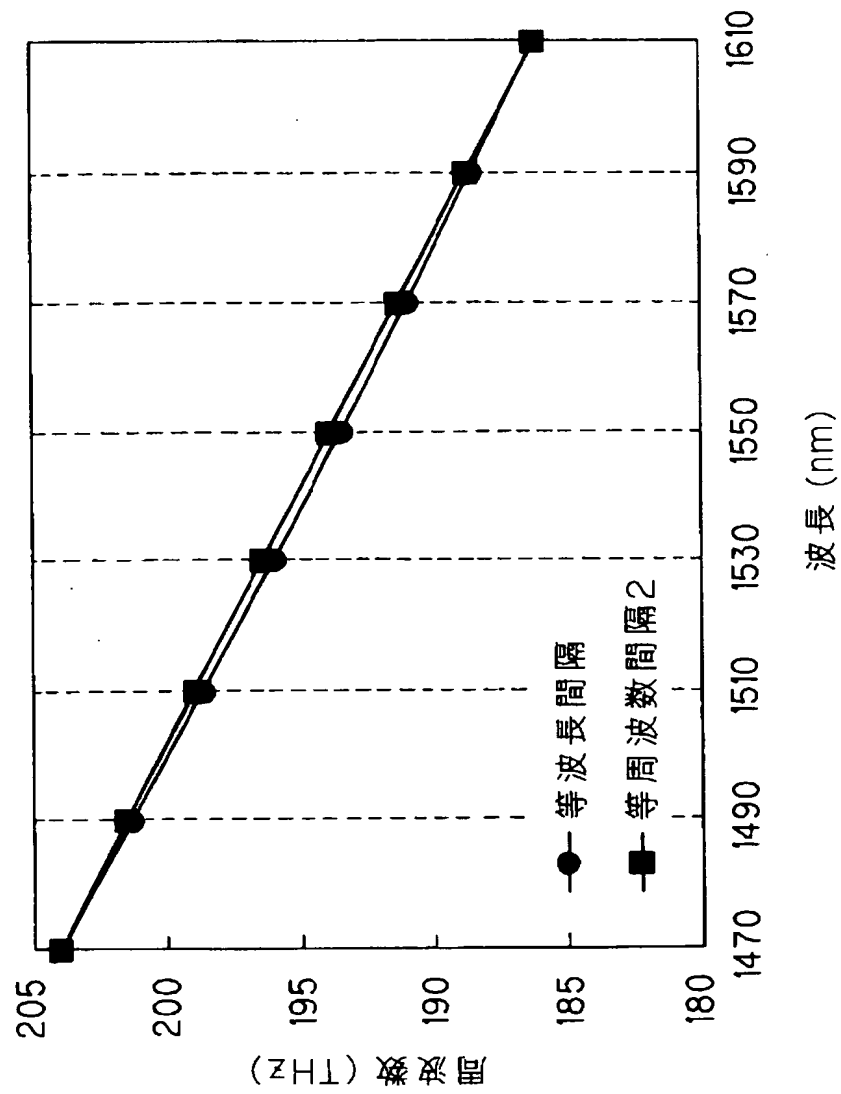
【図 1】



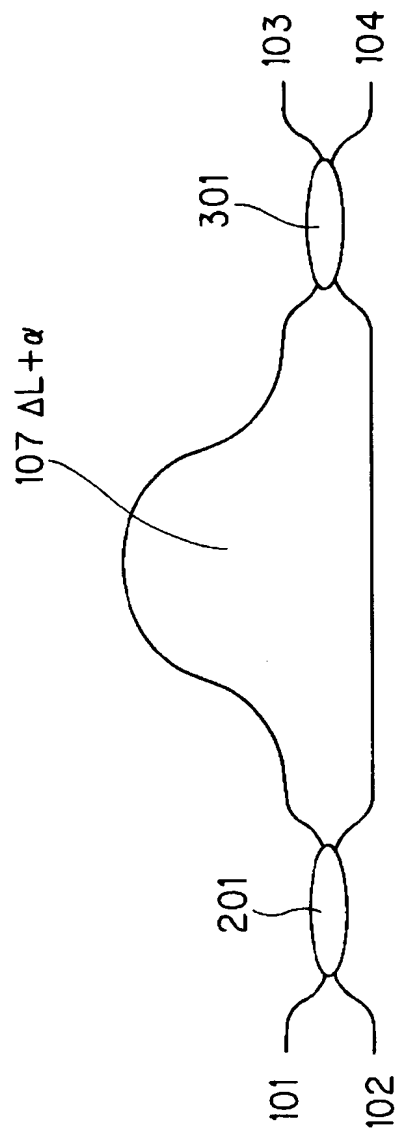
【図 2】



【図 3】

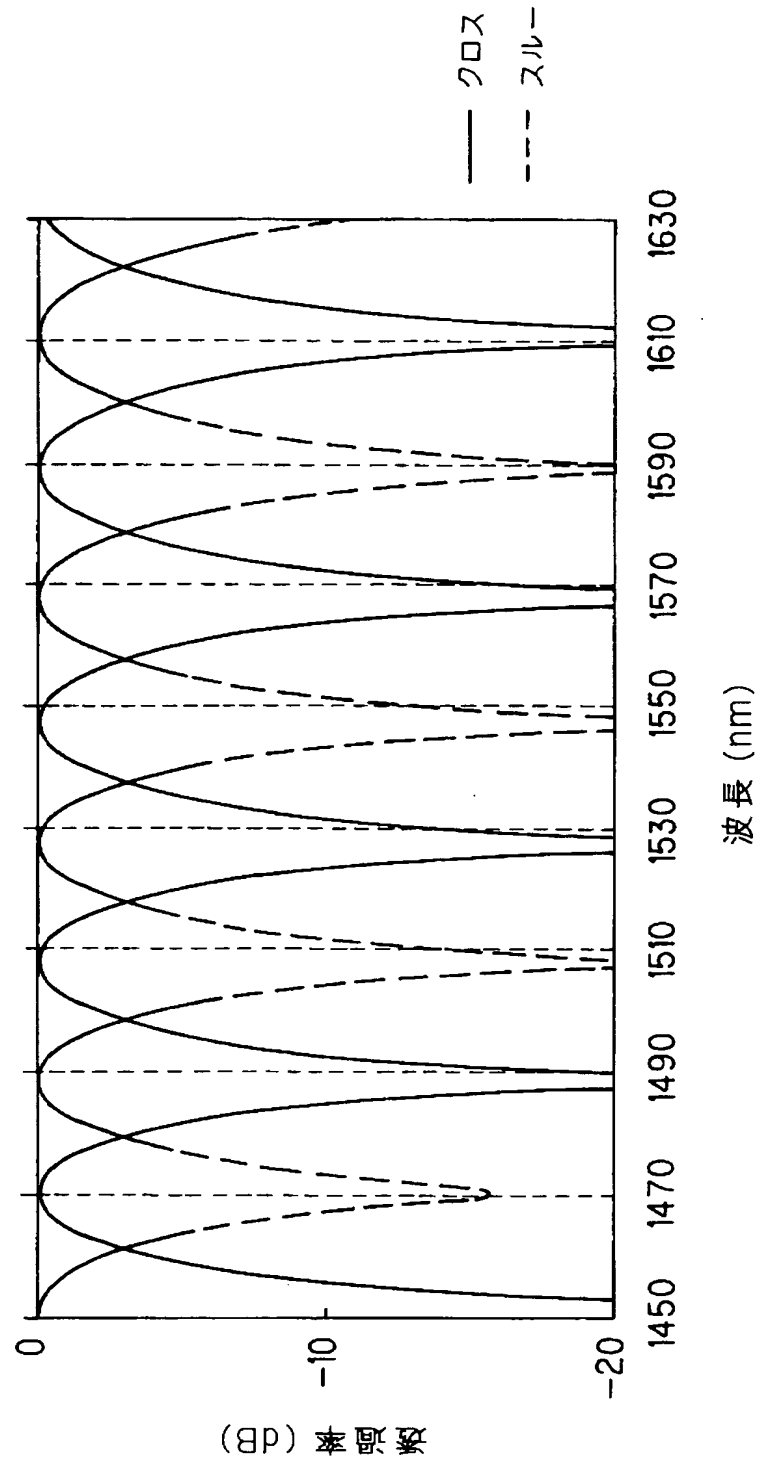


【図 4】

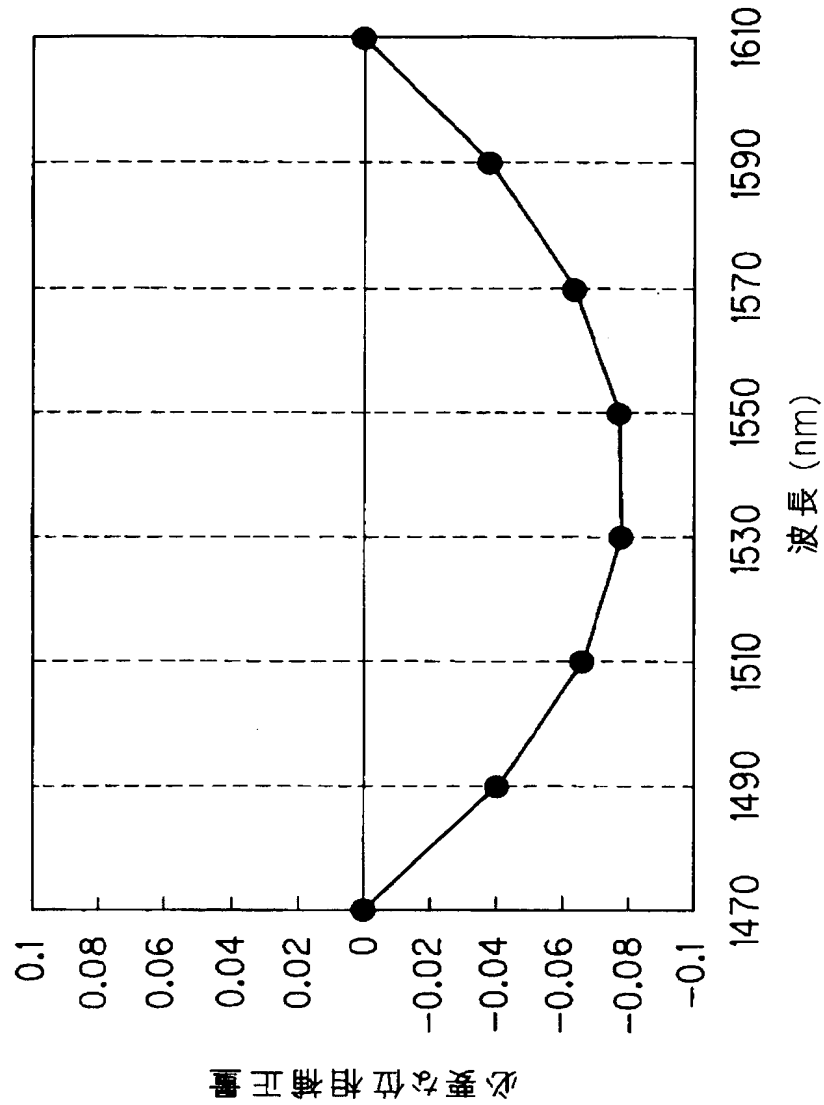




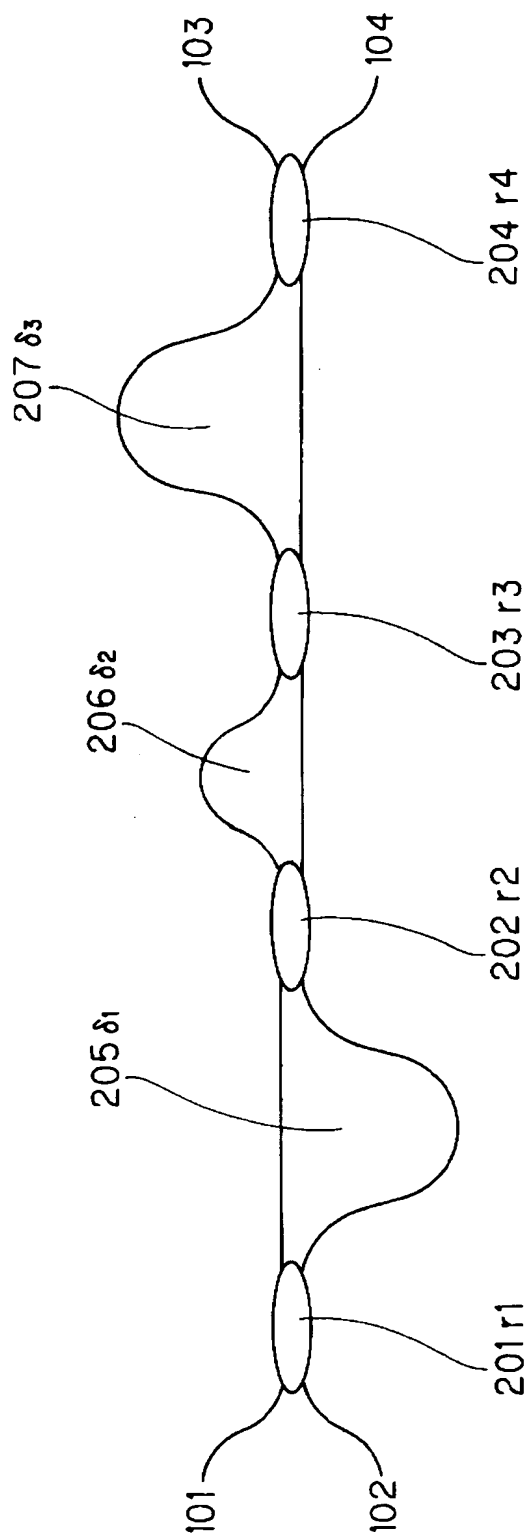
【図 5】



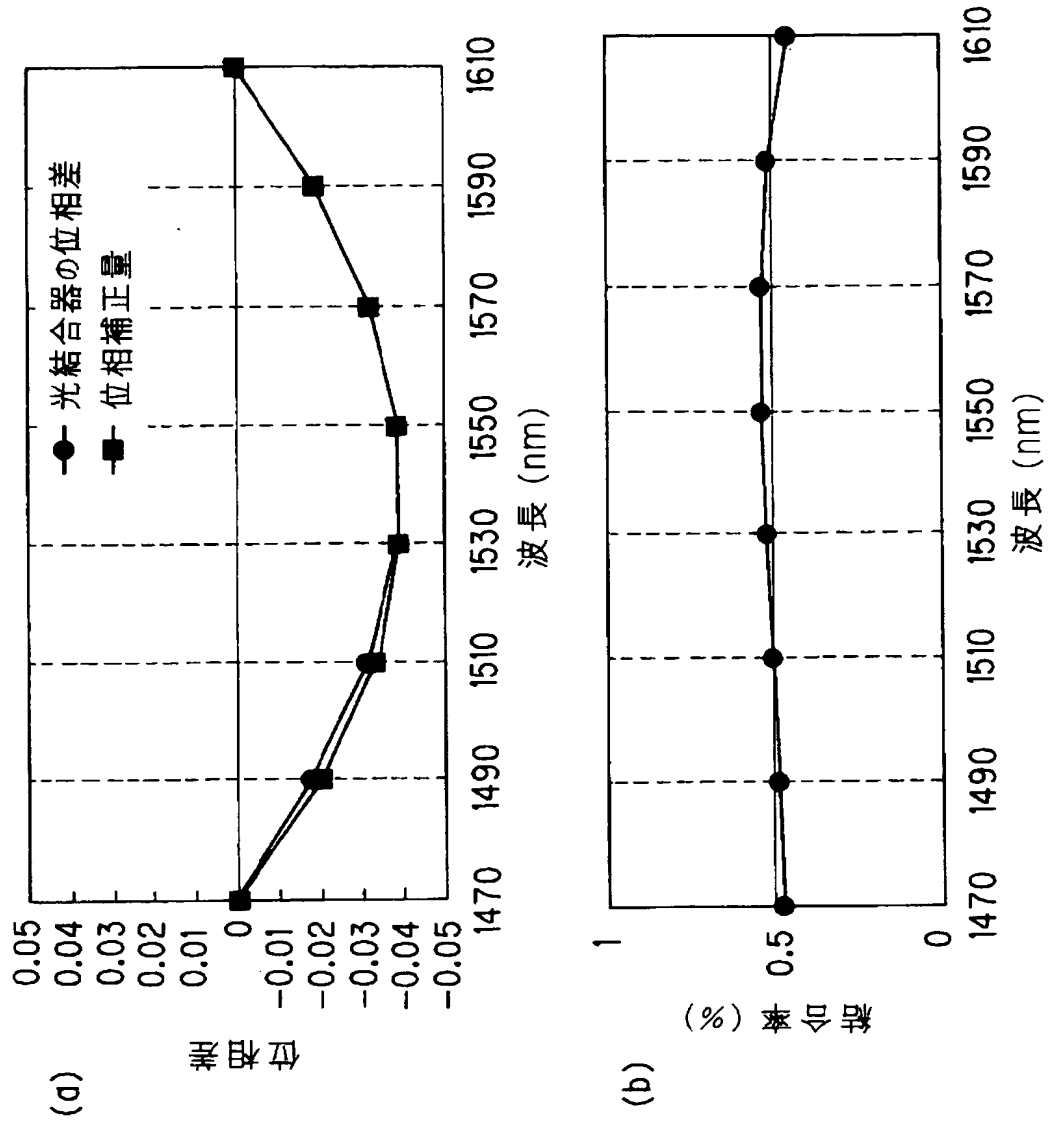
【図 6】



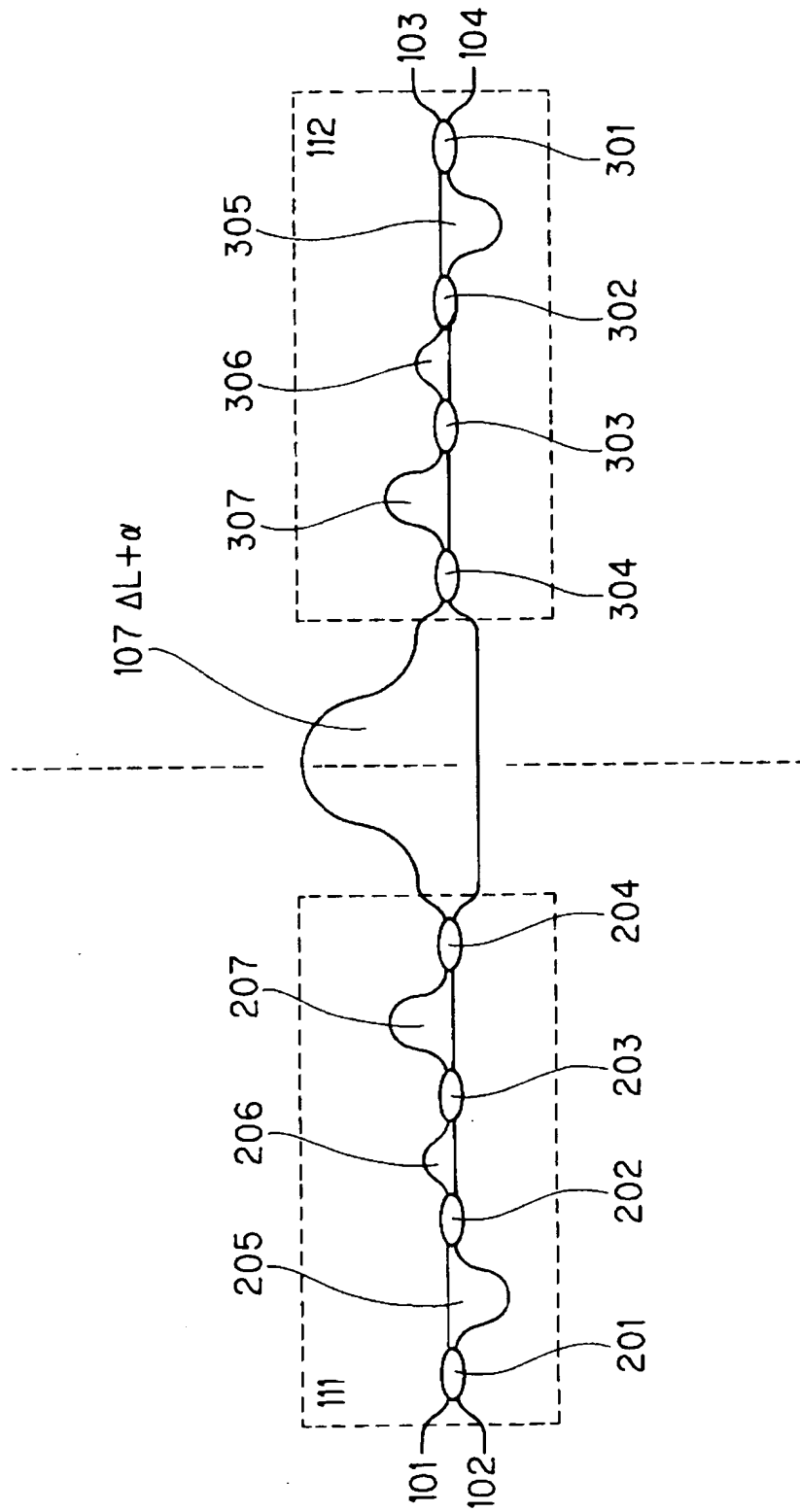
【図 7】



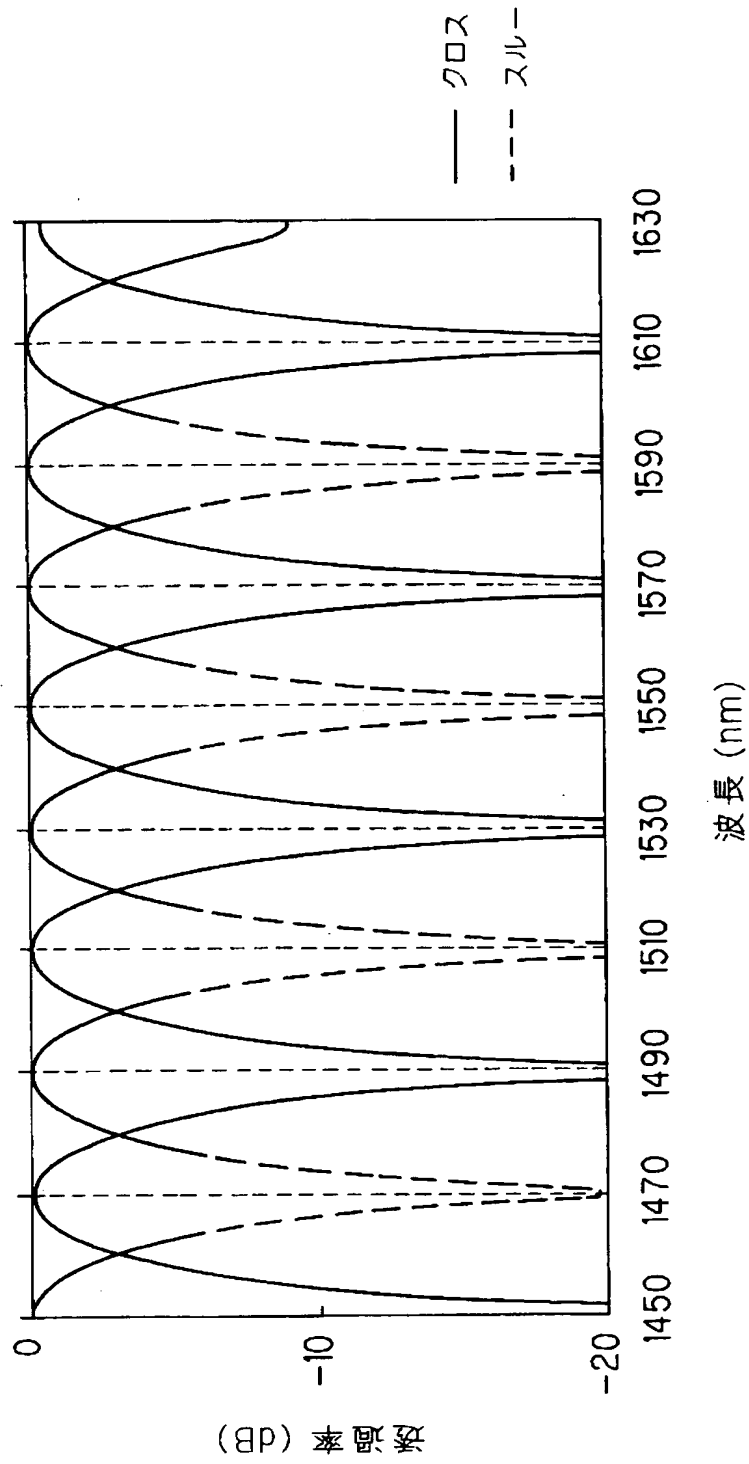
【図 8】



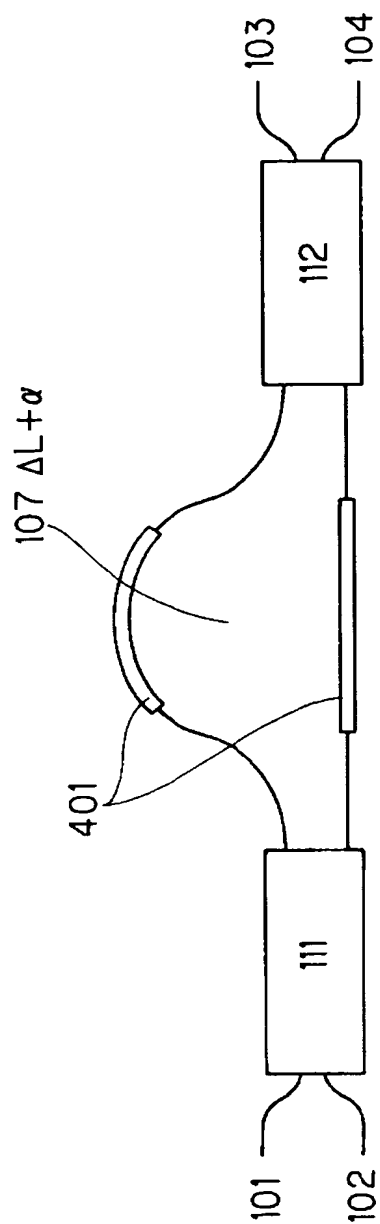
【図 9】



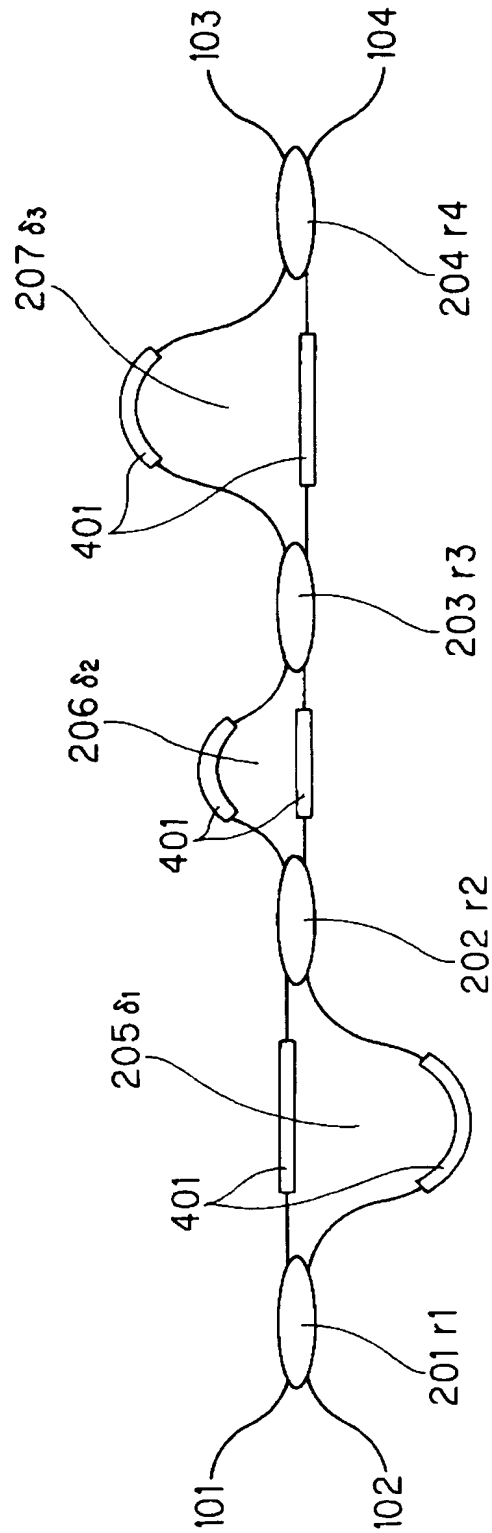
【図 10】



【図 1 1】

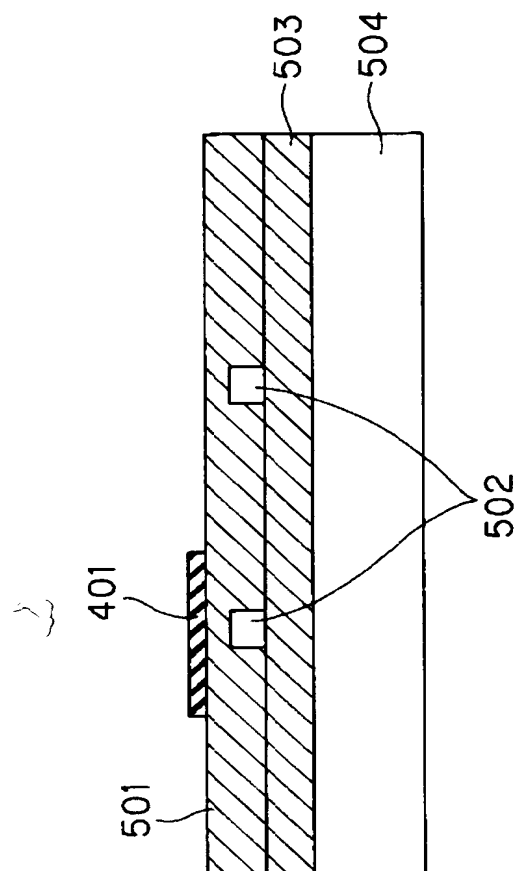


【図 1 2】

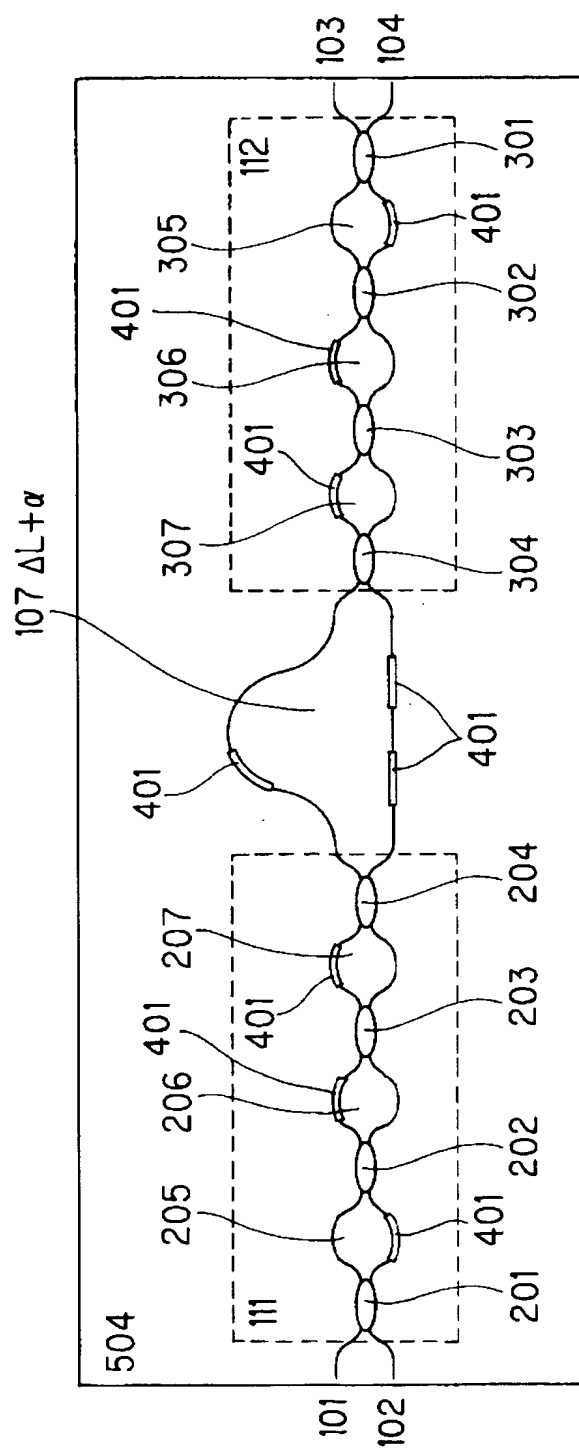




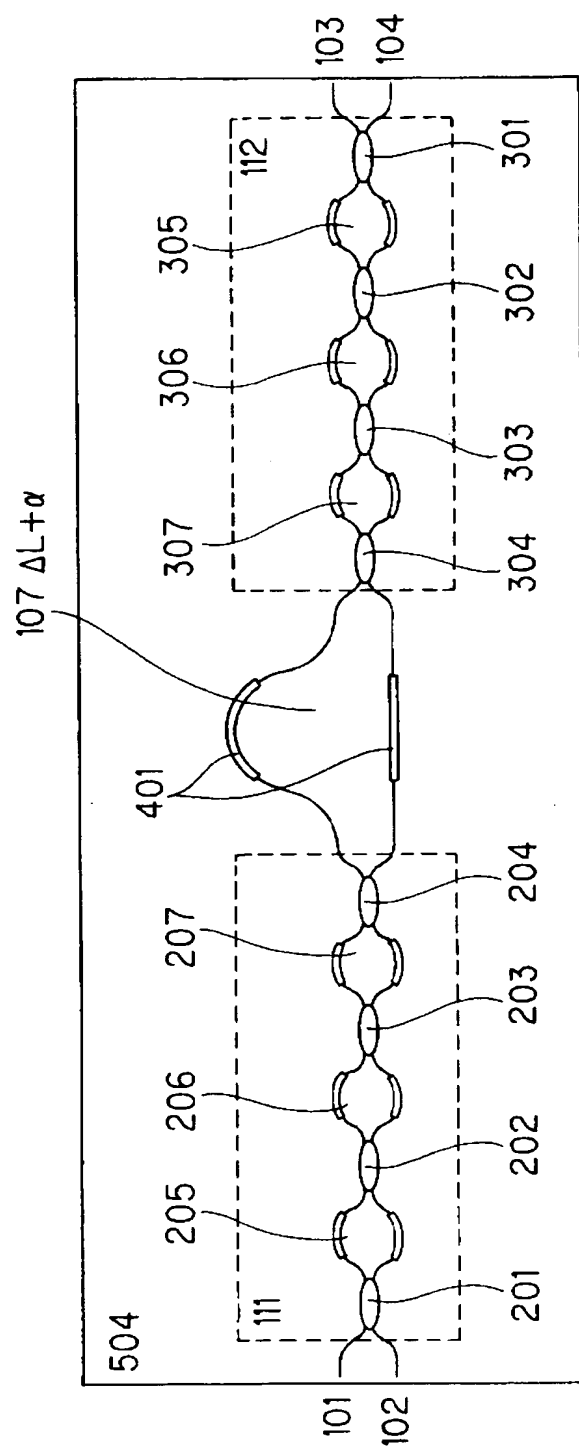
【図 13】



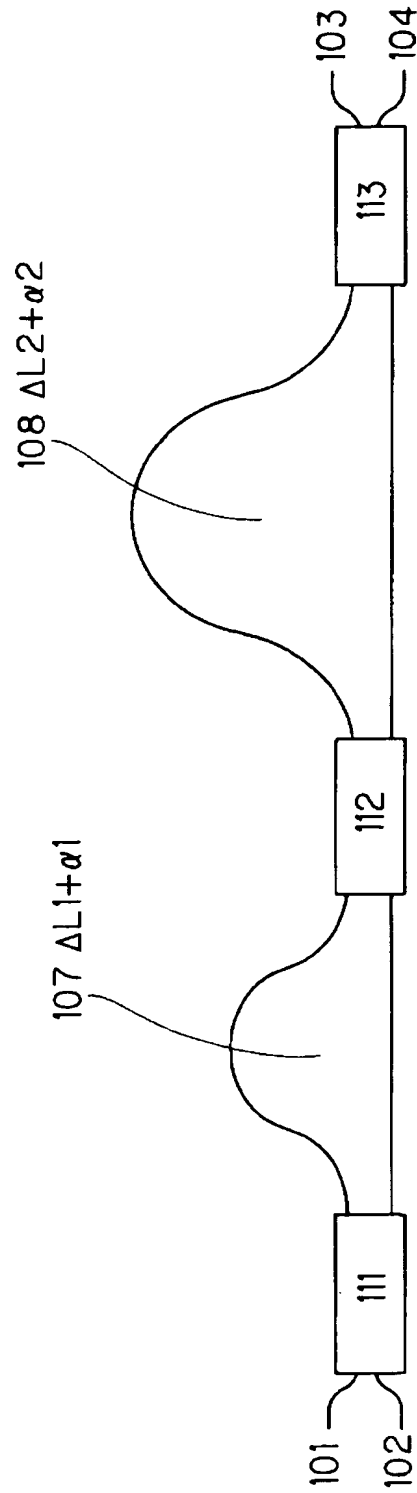
【図 14】



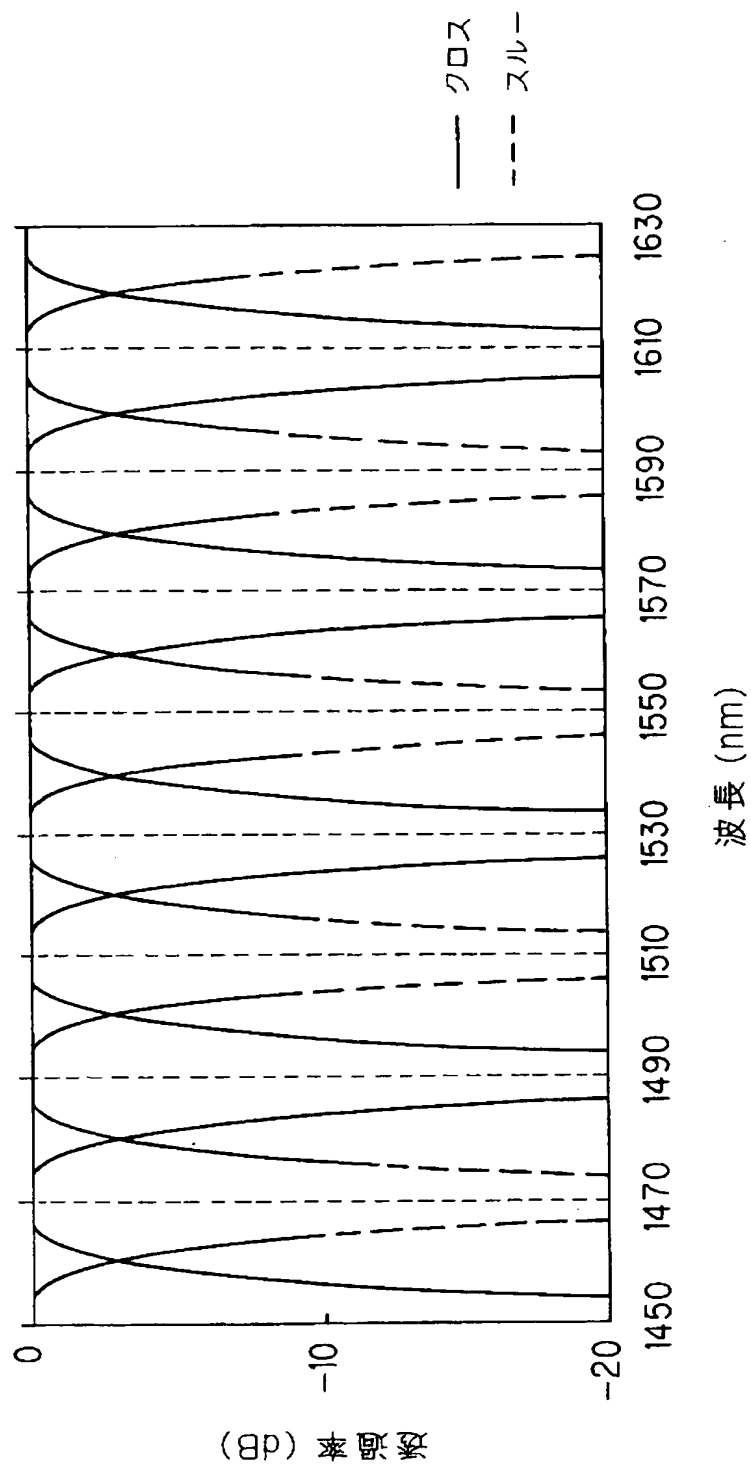
【図 15】



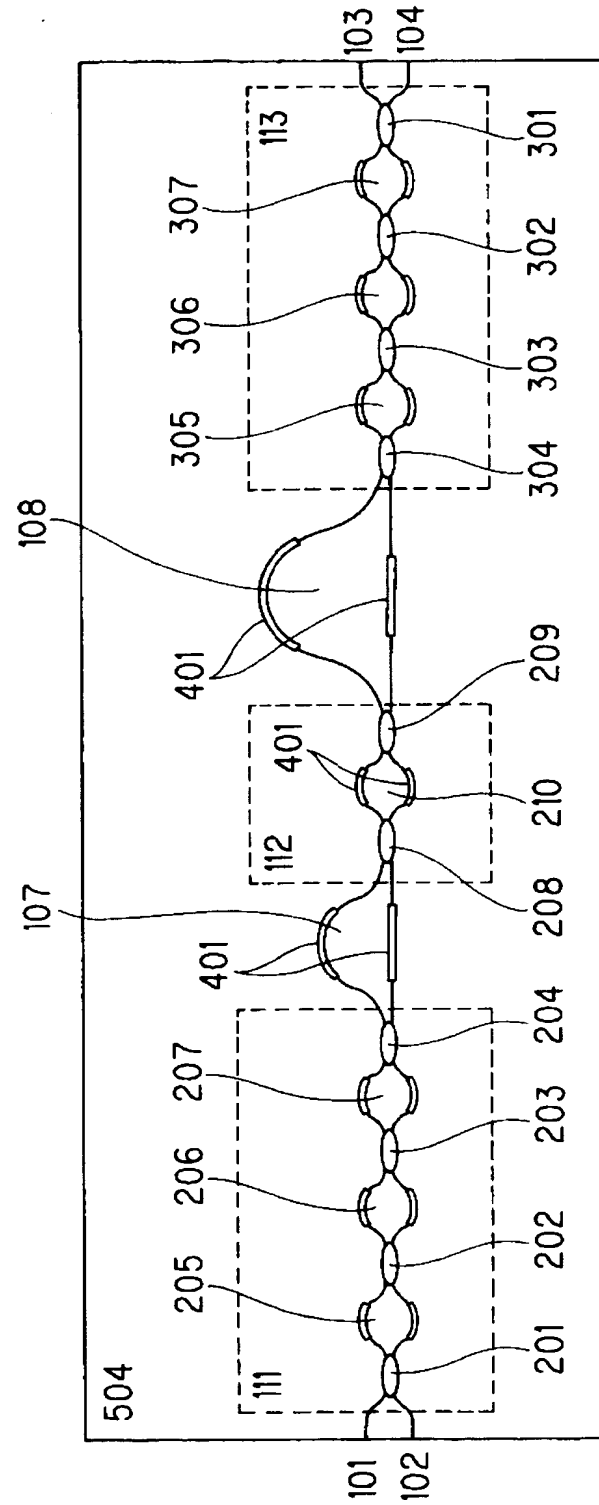
【図 1 6】



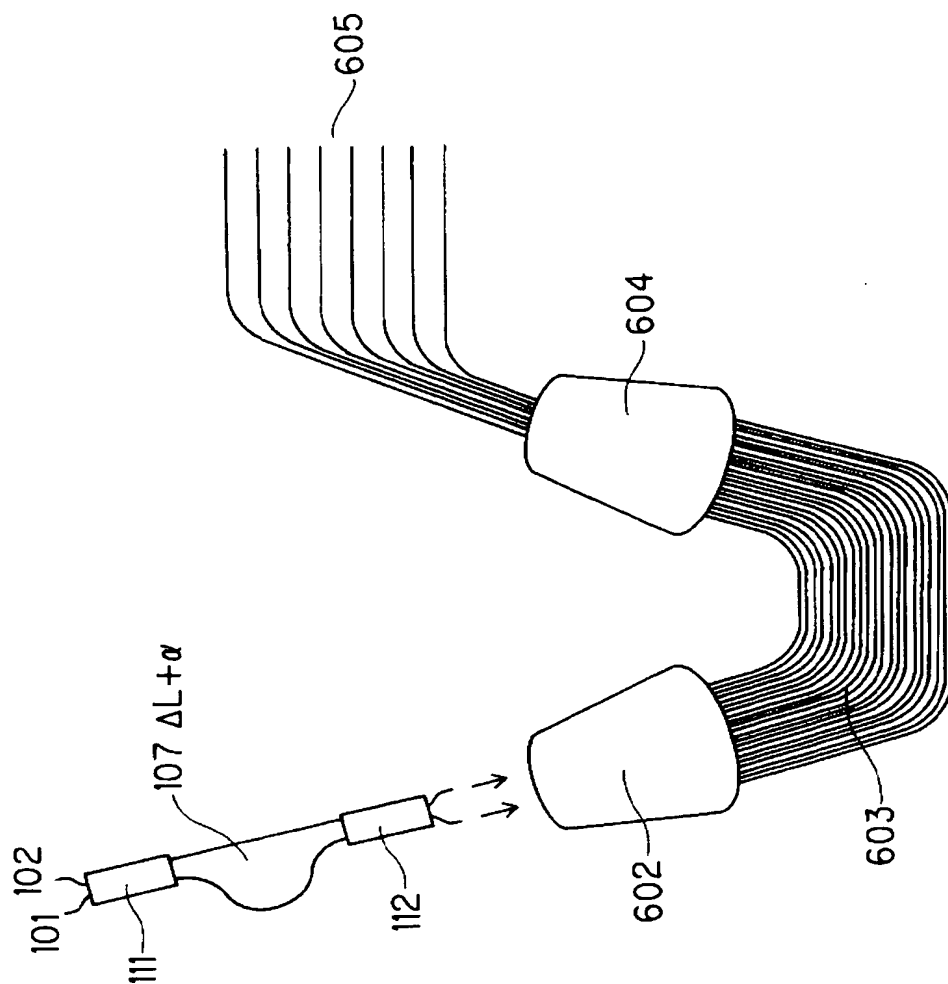
【図 17】



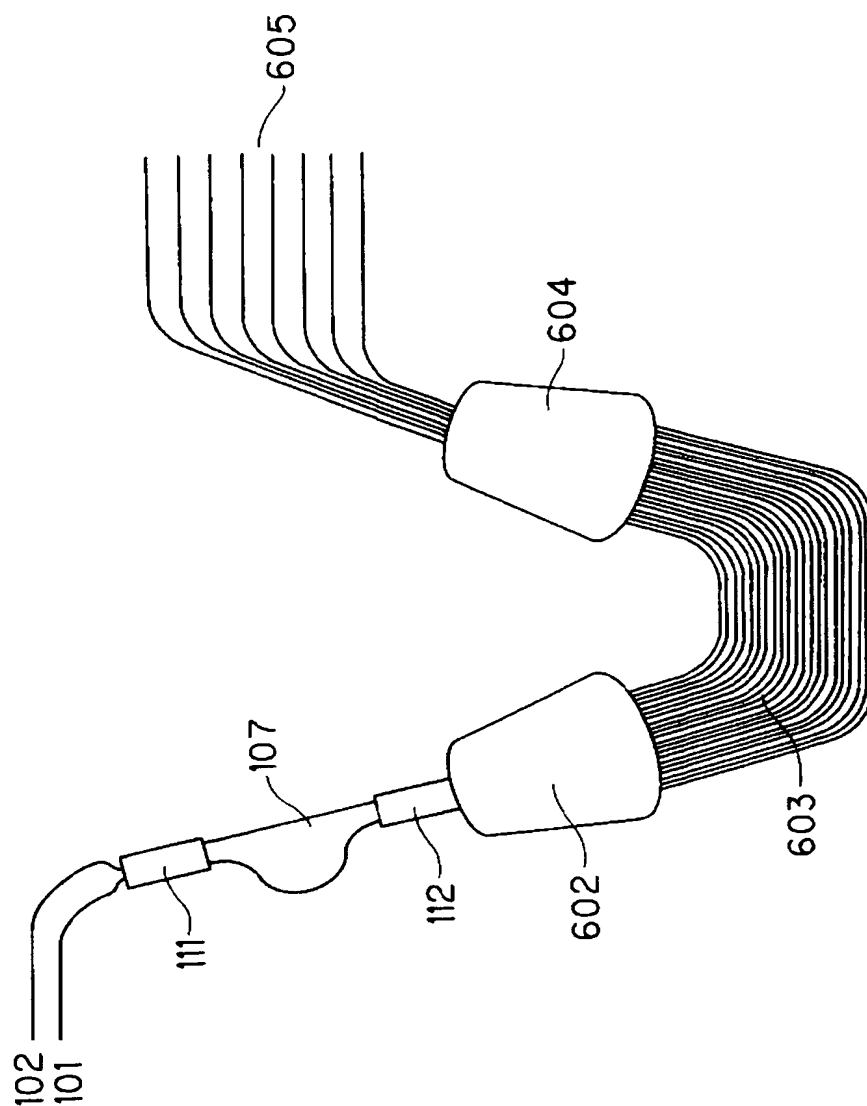
【図 18】



【図 19】

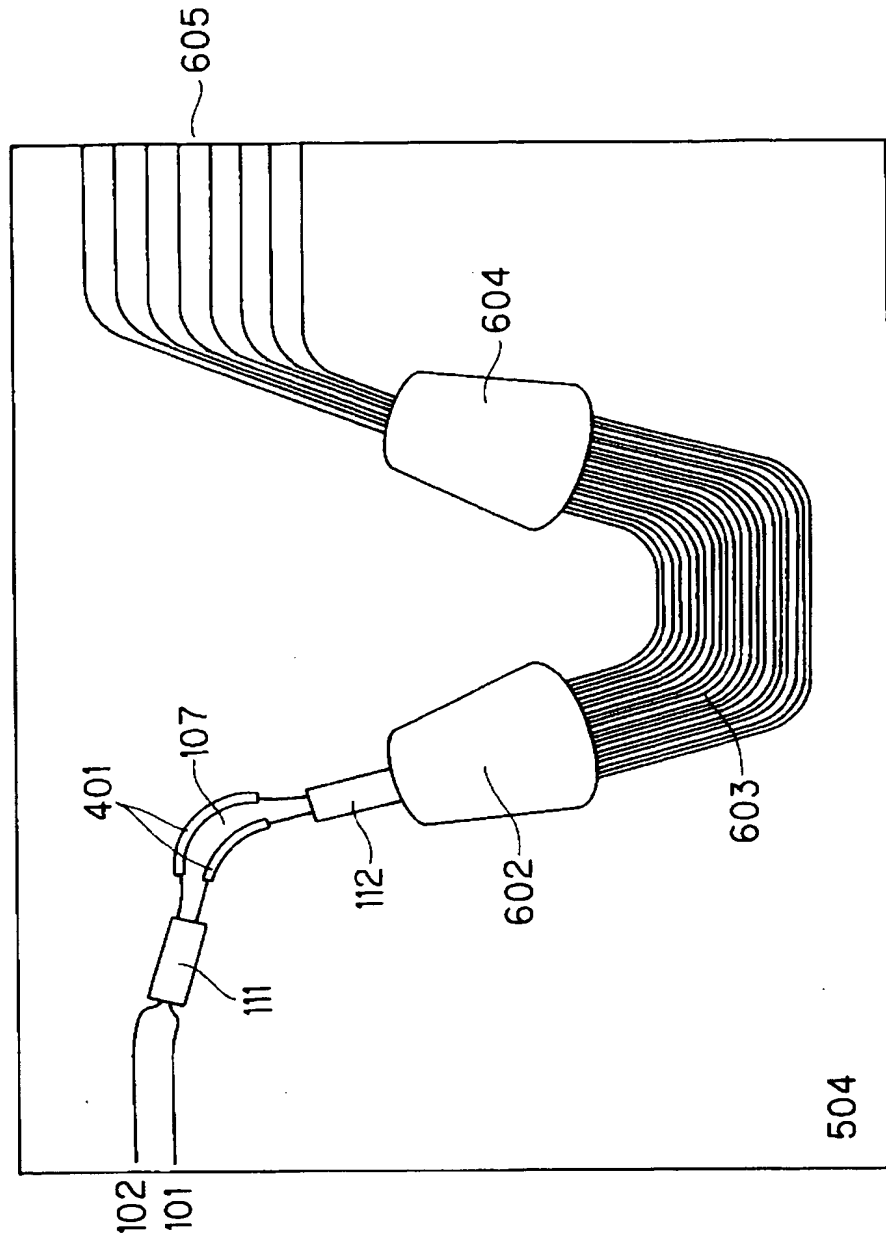


【図 20】

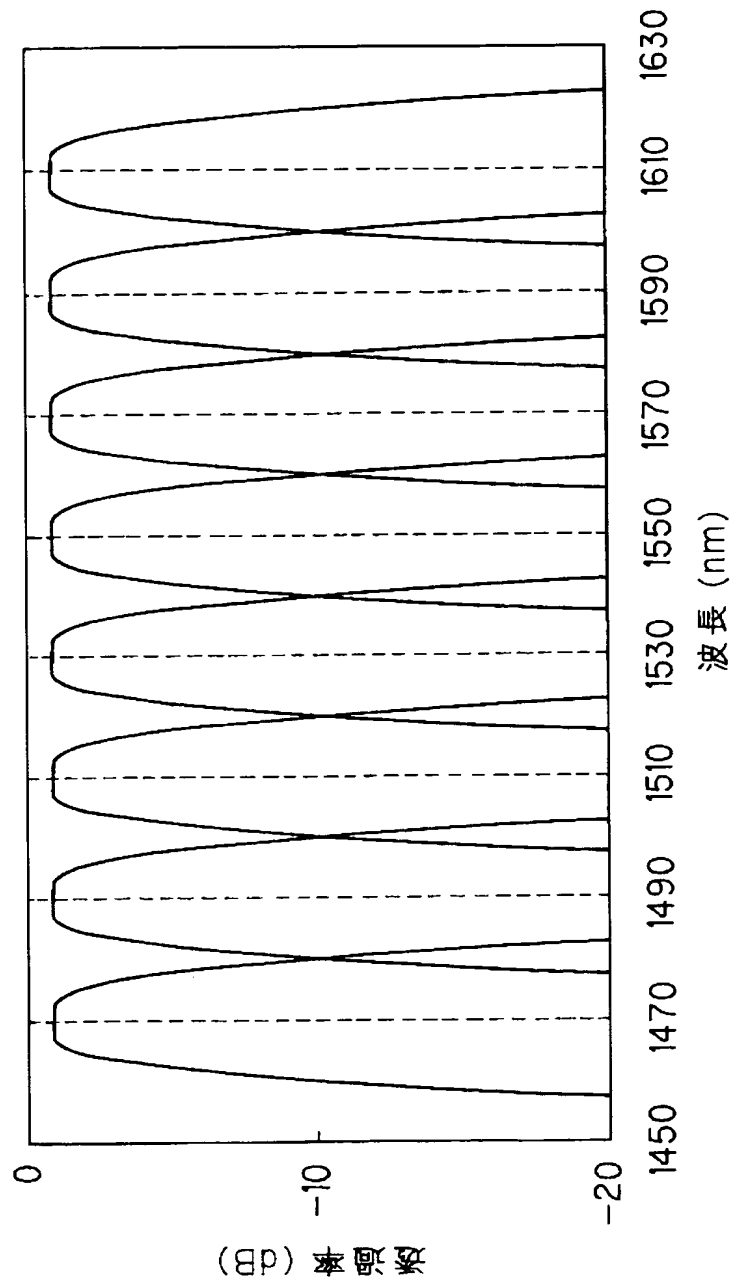




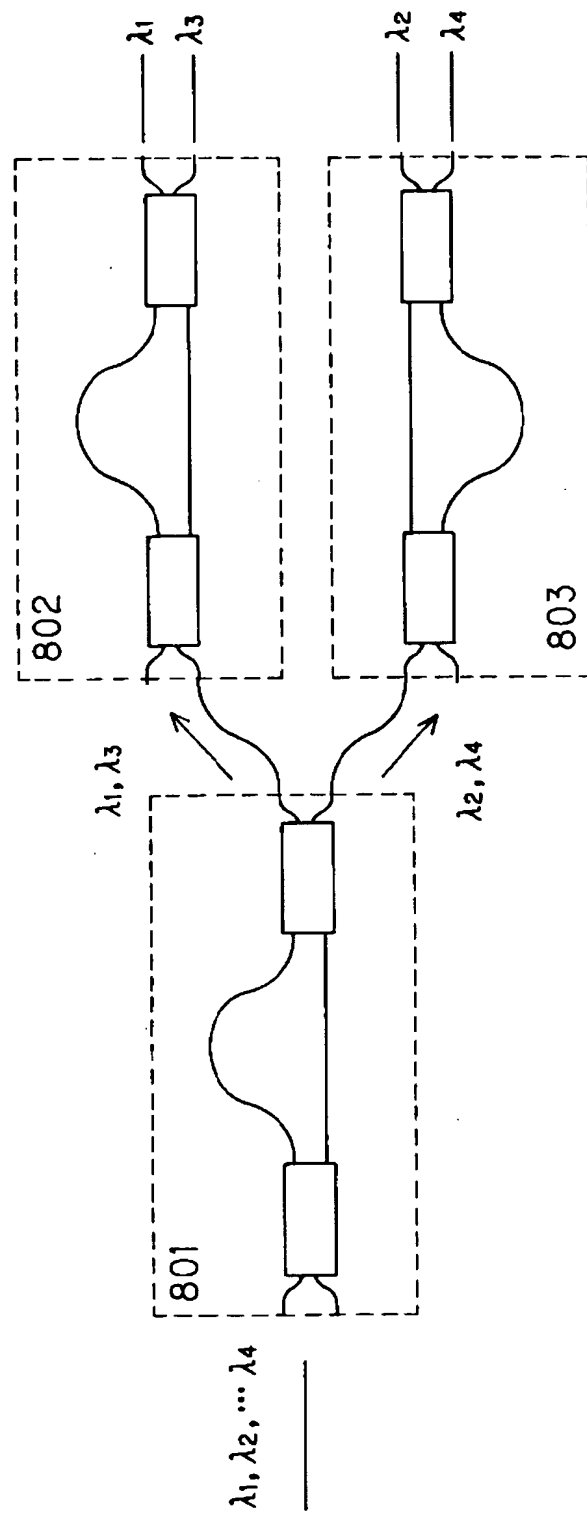
【図 21】



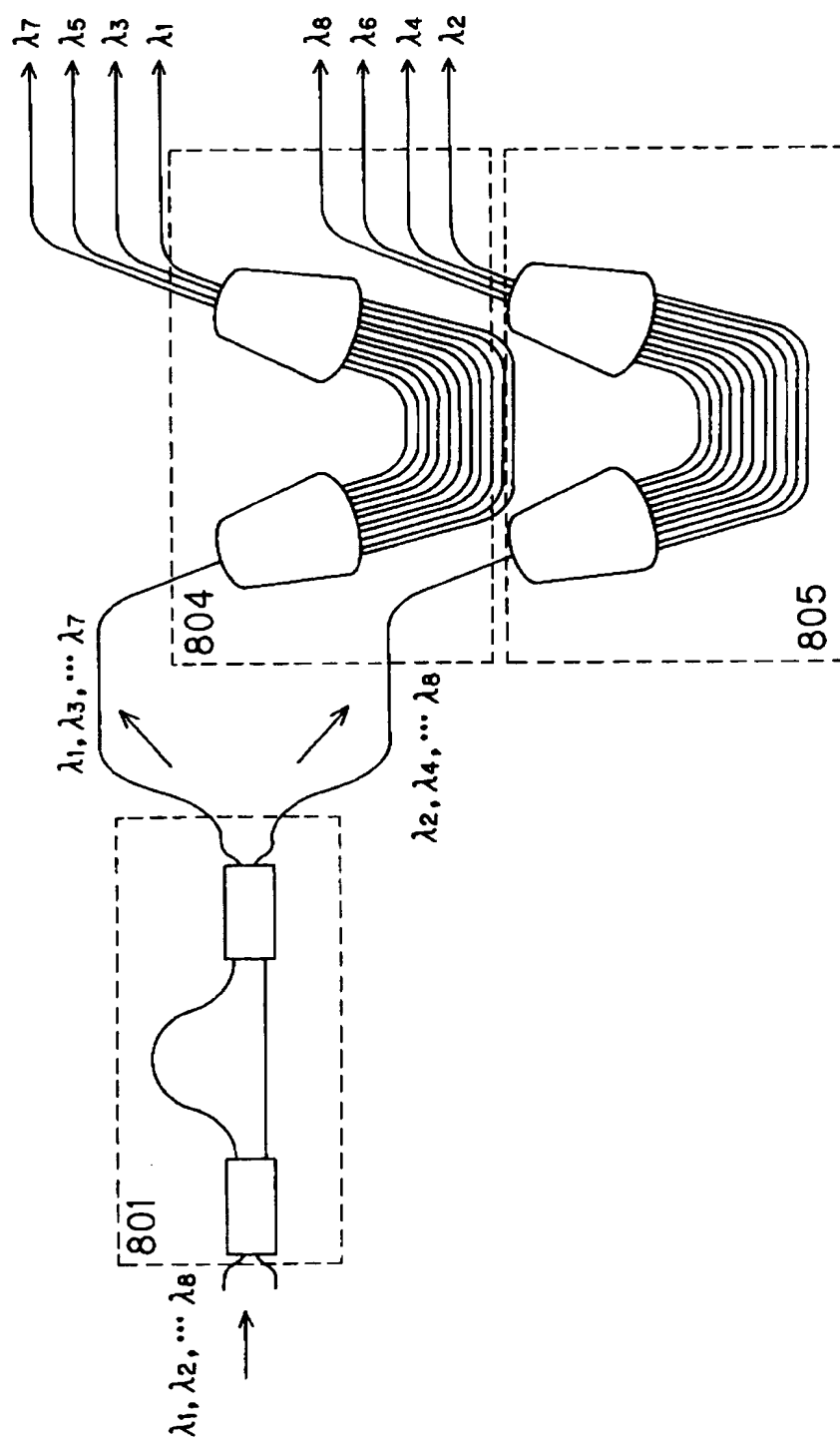
【図 22】



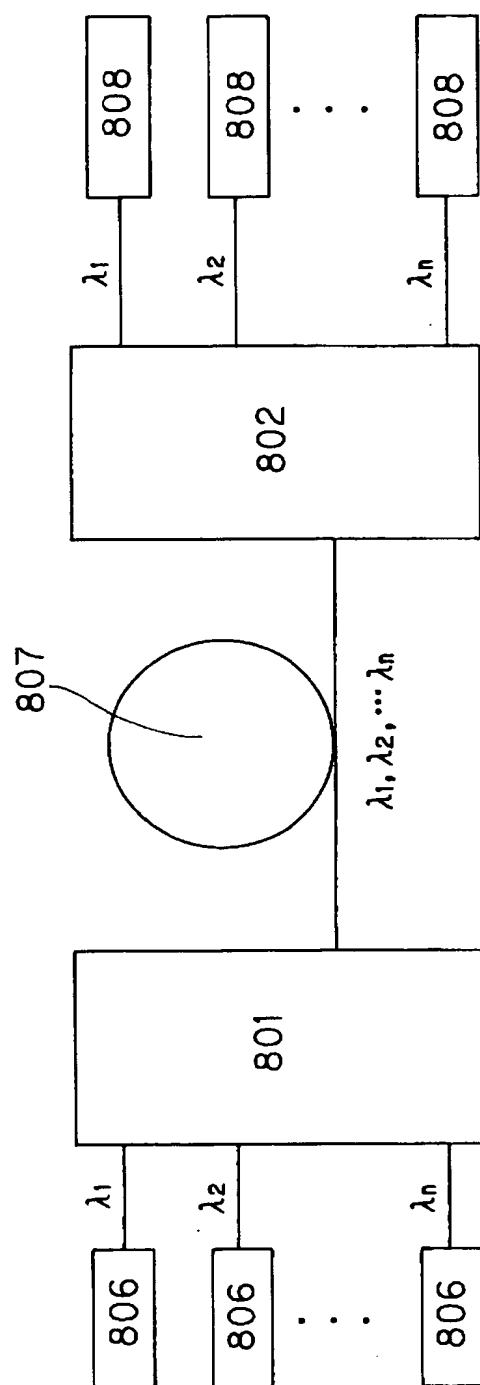
【図 23】



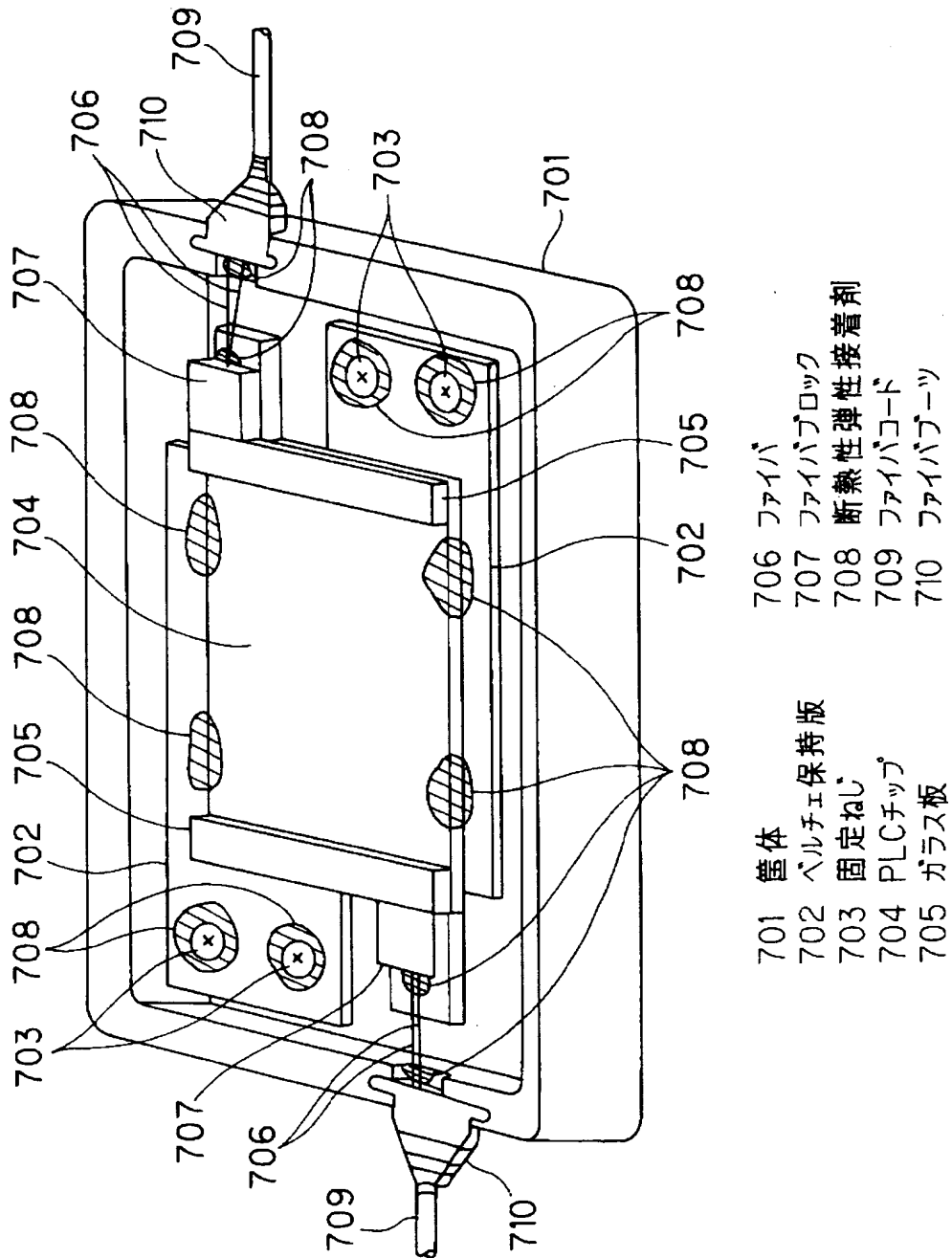
【図 24】



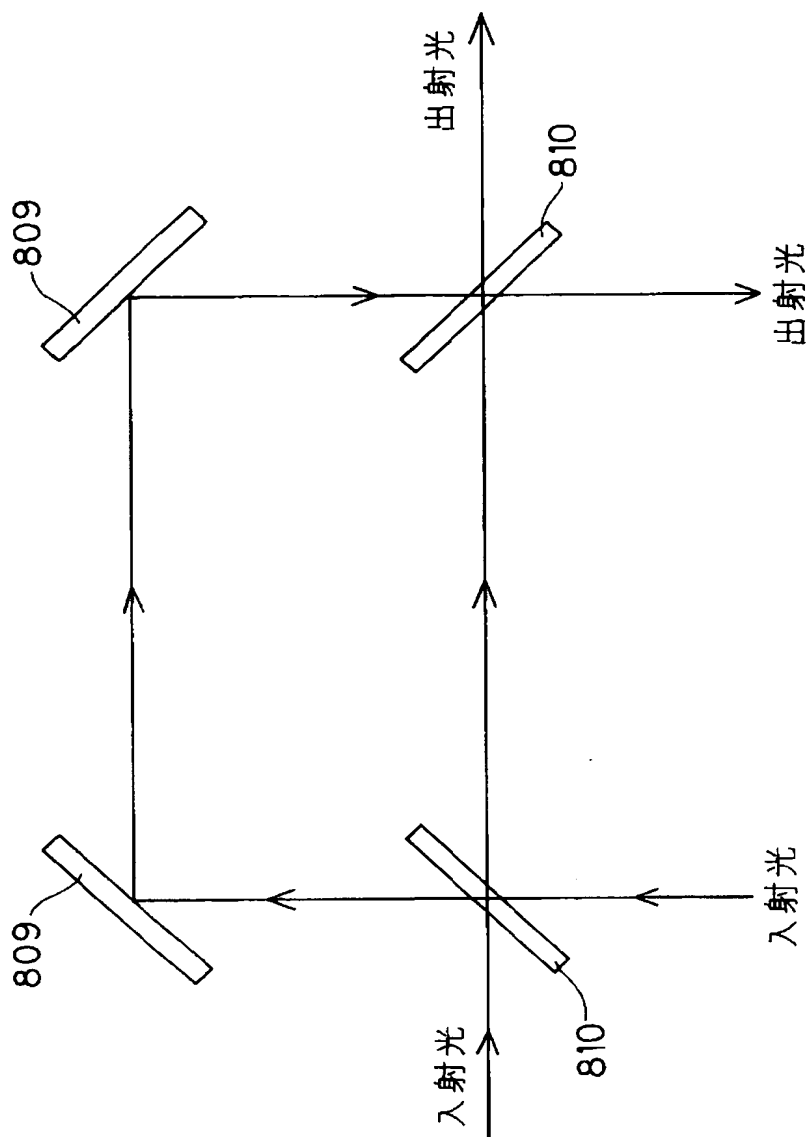
【図 2 5】



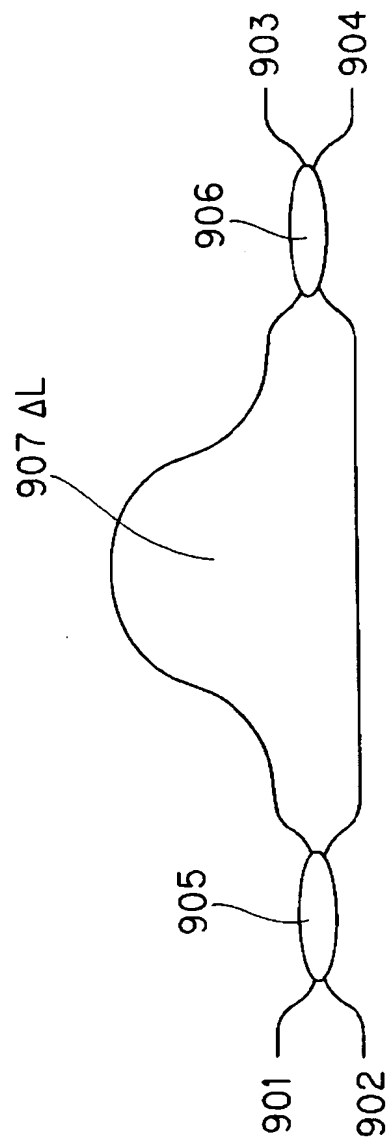
【図 2 6】



【図 27】

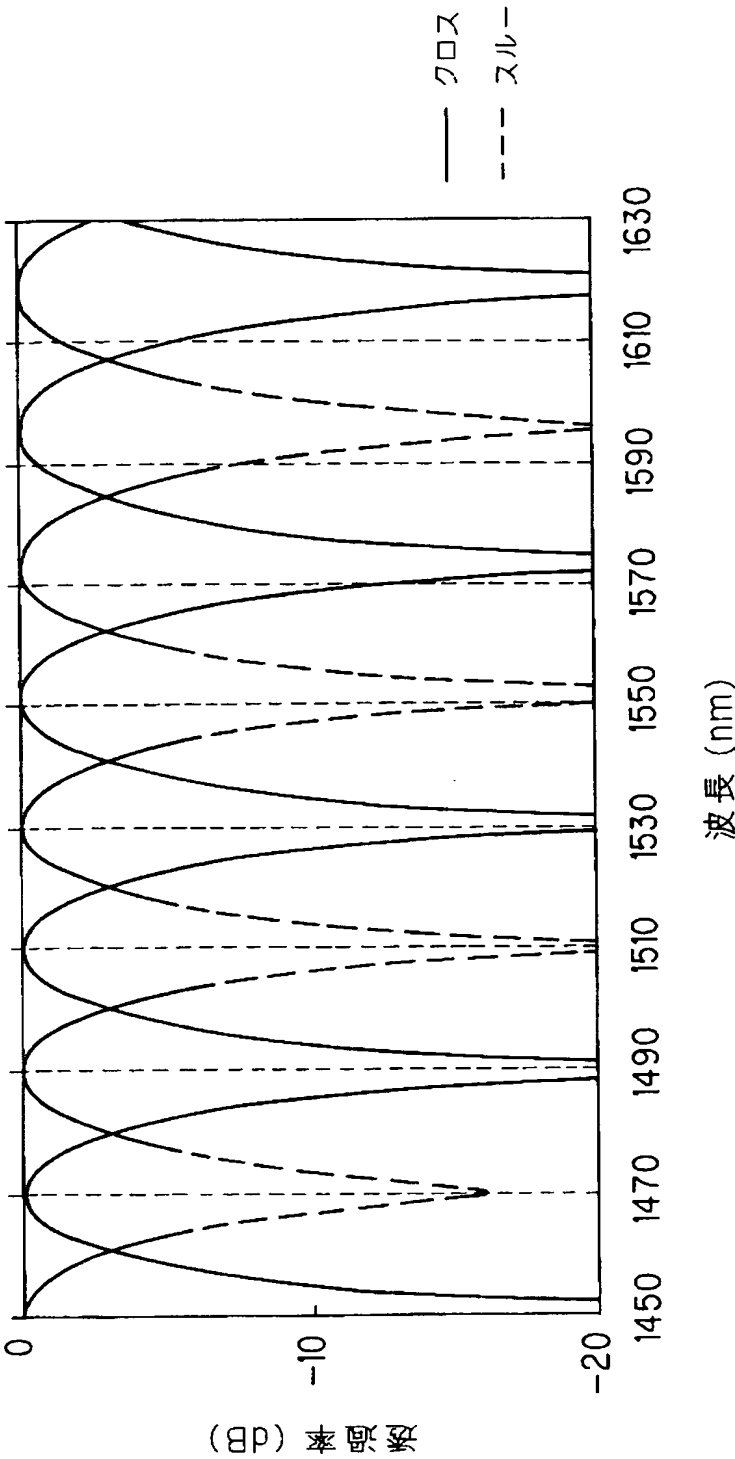


【図 28】

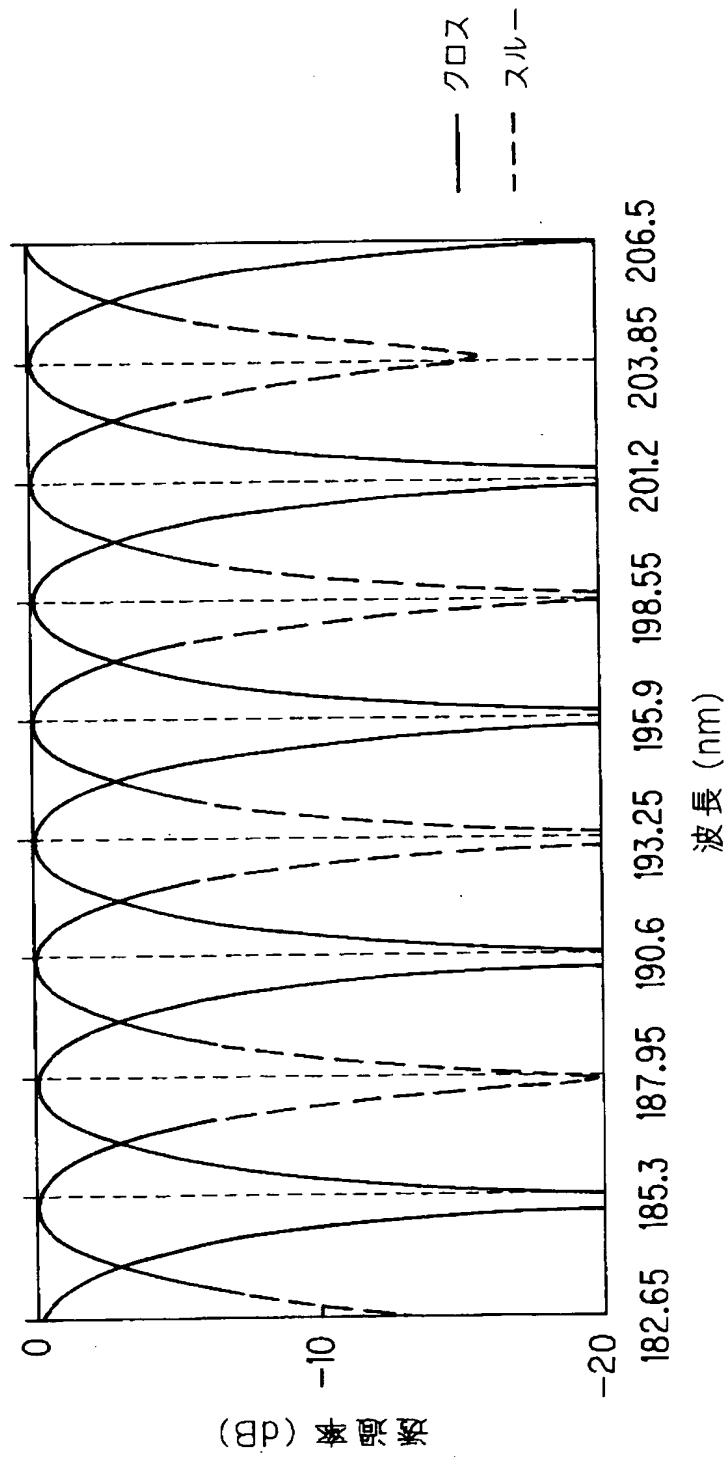




【図 29】



【図 30】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来のマッハツェンダ干渉計は、光周波数軸上では周期的であるが、波長軸上では周期的ではない。そこで、本発明では、波長グリッド上でも等周期の透過特性を有するマッハツェンダ干渉計を実現した。そのため本発明の等波長間隔合分波回路は、等波長間隔である光通信システムにも使用できる。

【解決手段】 本発明の等波長間隔合分波回路は、一つ以上の入力 1 0 1, 1 0 2 と二つ以上の出力 1 0 3, 1 0 4 を持つ光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 と、該光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 に接続される光路長差付与部 1 0 7 により構成される干渉回路において、光合分波手段 1 1 1, 1 1 2 のうち少なくとも一つは、出力の位相差が干渉回路の透過帯域に対して異なることにより、干渉回路の位相成分を透過帯域に対して変化させた。それにより異なる波長ごとに光路長を変化させることができ、透過帯の波長軸上のずれを補正できた。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 5 4 6 4 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 4 2 2 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社